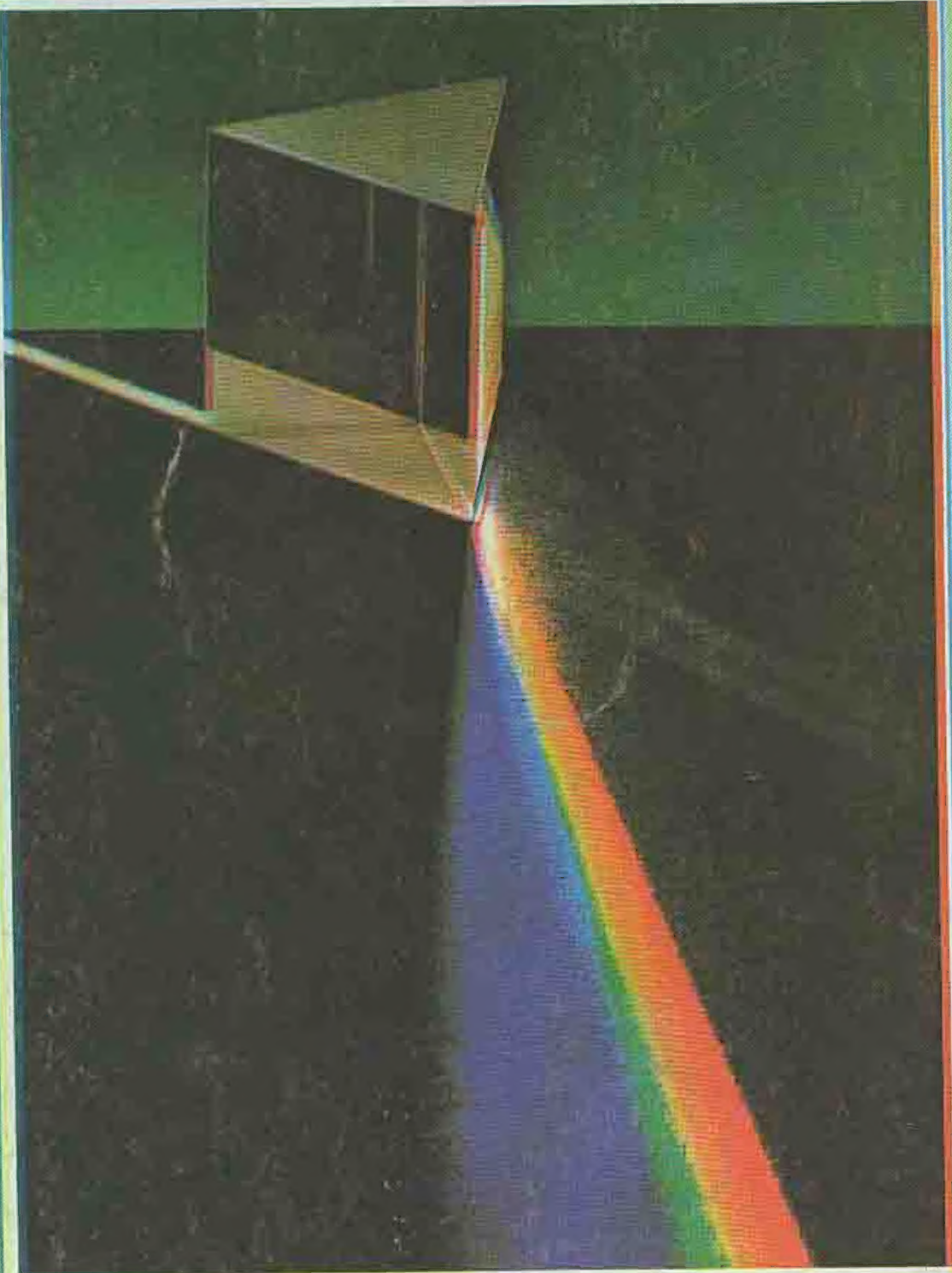




جمهوری اسلامی ایران
وزارت آموزش و پرورش
تیمار و کتابخانه

فيزيك



سال دوم - آموزش متوسطه عمومی
علوم تجربی - ریاضی و فیزیک

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

سازمان پژوهش و برنامه ریزی آموزشی
کتابخانه
نشریه و چاپ کتابهای علمی
وزارت آموزش و پرورش

۱۱۱۲۲ -

کتابخانه

سازمان پژوهش و برنامه ریزی آموزشی
نشریه و چاپ کتابهای علمی
(۱۳۶۳)

فیزیک

سال دوم

آموزش متوسطه عمومی

علوم تجربی - ریاضی و فیزیک

۱۳۶۸



تهران - کیلومتر ۱۵ جاده مخصوص کرج
خیابان داروغه - تلفن: ۴ - ۹۲۱۱۵۱

۱۳۷۸
۵۳.
۱۲۱
۲۰۵

مؤلفان : ابوالقاسم قلم‌سیاه ● محمدعلی پیغامی ● محمود عرب‌اف

حقوق مادی این اثر متعلق به وزارت
آموزش و پرورش است

صفحه‌آرا : امیر غلامیان حمزه کلانی

طرح جلد از : محمدعلی کشاورز

چاپ از : مطبوعات

فهرست مندرجات

صفحه	موضوع	صفحه	موضوع
۲۵	گرمای نهان	۱	فصل ۱: انرژی گرمایی و دما
۲۵"	گرمای نهان دوب	۱"	گرما انرژی است
۲۶"	" " تبخیر	۱"	گرما و حرکت مولکولی
۲۷"	انتقال گرما	۲"	گرما و انرژی درونی ماده
۲۸"	خودتان آزمایش کنید	۲"	دما و دماسنجی
۲۹"	به این پرسشها پاسخ دهید	۳"	دماسنجها
۳۲"	این مسئله را حل کنید	۴"	مدرج کردن دماسنجها
۳۴"	پاسخ به پرسشهای متن	۵"	تعیین نقطه ثابت بالائی
		۶"	" " پائینی
۳۷"	فصل ۲: ماهیت نور	۷"	صفر مطلق - درجه بندی مطلق
۳۸"	نور صورتی از انرژی است	۷"	دامنه کاربرد دماسنجها
۳۸"	نور و دیدن	۸"	دماسنج ماکزیمم - می نیمم
۳۸"	عبور و جذب نور	۱۰"	گرماسنجی و واحدهای گرما
۳۹"	سرعت نور	۹"	ظرفیت گرمایی
۳۹"	رنگ نور	۱۰"	ظرفیت گرمایی ویژه
۴۰"	رنگ اجسام کدر	۱۱"	برآورد اندازه گرما
۴۰"	بنظر می رسد که نور به خطر است می گذرد	۱۳"	اثرهای گرما بر ماده
۴۱"	اتاق تاریک	۱۵"	اندازه گیری ضریب انبساط طولی فلزات
۴۳"	تشکیل سایه	۱۶"	انبساط سطحی جامدات
۴۴"	گرفتن خورشید و ماه	۱۷"	انبساط حجمی جامدات
۴۵"	خودتان آزمایش کنید	۱۷"	انبساط مایعات
۴۶"	به این پرسشها پاسخ دهید	۱۷"	مقایسه انبساط مایع های مختلف
۴۷"	این مسئله ها را حل کنید	۱۹"	انبساط آب غیر عادی است
۴۸"	پاسخ به پرسشهای متن	۲۰"	تغییر حجم و فشار گازها در اثر گرما

۴۹	صفحه ۴۹	فصل ۳ : بازتابش نور - آینه‌ها
۴۹"		بازتابش نور
۴۹"		قانون‌های بازتابش نور
۵۰"		بازتابش منظم و پخش نور
۵۱"		تصویر در آینه‌های تخت
۵۳"		چگونه چشم ، تصویر در آینه تخت را می بیند
۵۳"		تصویرهایی که در دو آینه تخت عمود برهم
۵۴"		تشکیل می شوند
۵۴"		آینه‌های موازی
۵۵"		دوران پرتو بازتابش در اثر دوران آینه
۵۶"		آینه‌های کروی
۵۶"		قانون اصلی
۵۸"		تعیین جای تصویر به کمک رسم پرتوها
۵۸"		تصویر در آینه‌های مقعر
۶۰"		تولید یکدسته پرتو موازی بوسیله آینه مقعر
۶۱"		تلسکوپ انعکاسی
۶۲"		کوره آفتابی
۶۲"		تشکیل تصویر در آینه‌های محدب
۶۵"		بزرگ نمایی آینه
۶۸"		خودتان آزمایش کنید
۷۰"		به این پرسشها پاسخ دهید
۷۲"		این مسئله ها را حل کنید
۷۳"		پاسخ به پرسشهای متن
۷۵"		فصل ۴ : شکست نور
۷۵"		پدیده شکست نور
۷۶"		قانون‌های شکست نور
۷۸"		تحقیق تجربی قانون دوم شکست نور
۷۹"		مفهوم فیزیکی ضریب شکست
۸۰"		ضریب شکست نسبی
۸۰"		چند اثر از شکست نور
۸۱"		عمق ظاهری و حقیقی
۸۱	رابطه ضریب شکست با عمق ظاهری و حقیقی صفحه ۸۱	
۸۲"		بازتابش کلی - زاویه حد
۸۳"		رابطه زاویه حد با ضریب شکست
۸۴"		بازتابش کلی در منشورها
۸۵"		سراب
۸۶"		انحراف نور در تیغه شیشه‌ای تخت
۸۷"		انحراف نور در منشور
۸۷"		خودتان آزمایش کنید
۹۰"		به این پرسشها پاسخ دهید
۹۲"		این مسئله‌ها را حل کنید
۹۴"		پاسخ به پرسشهای متن
۹۶"		فصل ۵ : عدسی‌ها
۹۶"		اصطلاحات
۹۷"		مقایسه عدسی با منشور
۹۸"		مرکز اپتیکی عدسی - فاصله کانونی
۹۸"		تعیین جای تصویر به کمک رسم پرتوها
۹۹"		حل مسائل مربوط به عدسی‌ها بروش ترسیم
۱۰۲"		بزرگ نمایی
۱۰۶"		همگرایی عدسی‌های ساده
		رابطه همگرایی ساده با مشخصات ساختمانی
۱۰۷"		آن
۱۰۹"		خودتان آزمایش کنید
۱۱۰"		به این پرسشها پاسخ دهید
۱۱۲"		این مسئله‌ها را حل کنید
۱۱۳"		پاسخ به پرسشهای متن
۱۱۶"		فصل ۶ : کاربرد عدسی‌ها
۱۱۶"		چشم
۱۱۷"		تطابق چشم
۱۱۷"		معایب دید و اصلاح آنها با عینک
۱۱۹"		بزرگی زاویه‌ای و اندازه ظاهری اجسام

صفحه ۱۲۸	طیف نما	صفحه ۱۲۵	دستگاه عکسبرداری
۱۲۸"	ترکیب رنگهای طیف	۱۲۱"	پروژکتور
	نقش صافی های نور در شناسائی رنگهای	۱۲۲"	ریزبین (میکروسکوپ)
۱۲۹"	طیف	۱۲۳"	دوربین نجومی
۱۳۰"	رنگهای اصلی و فرعی	۱۲۳"	به این پرسشها پاسخ دهید
۱۳۰"	بهم آمیختن رنگهای نور	۱۲۴"	این مسئله ها را حل کنید
۱۳۱"	مخلوط کردن رنگهای نقاشی	۱۲۵"	پاسخ به پرسشهای متن
۱۳۲"	خودتان آزمایش کنید		
۱۳۲"	به این پرسشها پاسخ دهید	۱۲۶"	فصل ۷ : تجزیه نور - رنگ نور
۱۳۳"	پاسخ به پرسشهای متن	۱۲۶"	آزمایش نیوتون با منشور
۱۳۵"	جدول مثلثاتی	۱۲۷"	اصلاح نخستین آزمایش نیوتون

انرژی گرمایی و دما

تاکنون آموخته‌اید که گرما صورتی از انرژی است. در بیشتر رویدادهای عادی در این جهان هنگام تبدیل انرژیهای پتانسیل و جنبشی به یکدیگر گرما نیز تولید می‌شود. مطالعهٔ آثار این انرژی بر روی ماده، این نظر را تأیید می‌کند که ماده ساختمان دانه‌ای دارد یعنی از ذرات ریز و جدا از هم به نام مولکول و اتم تشکیل یافته است و گرما بستگی به حرکت و انرژی این ذرات دارد. بنابراین مطالعهٔ انرژی گرمایی، ما را به بررسی ساختمان ماده برمی‌گرداند و اطلاعات ما را دربارهٔ ساختمان دانه‌ای ماده بیشتر می‌کند.

کدامند؟ آیا فقط انرژی مکانیکی به گرما تبدیل می‌شود؟

گرما انرژی است

گرما و حرکت مولکولی

می‌دانید که ماده از مولکولها ساخته شده است. این مولکولها دائماً در حرکتند و حرکت آنها بستگی به حالت ماده دارد.

پرسش ۱-۳ - با توجه به آنچه در سال گذشته در بخش نیرو دیدید بگویید حرکت مولکولها در جامدات و مایعات و گازها چگونه صورت می‌گیرد؟

یکی از اثرهای گرما بر روی ماده این است که حرکت مولکولهای آنرا سریعتر می‌کند، بنابراین مولکولها از یکدیگر بیشتر فاصله می‌گیرند. در نتیجه حجم جسمی که از این مولکولها تشکیل یافته است افزایش می‌یابد زیرا نیروهای پیوستگی که بین

هنگامی که دستهای خود را به هم می‌مالید حس می‌کنید که گرم می‌شوند. وقتی که قطعه‌های فلزی را با آره می‌برید یا سوهان می‌زنید گرما تولید می‌شود. هنگامی که لاستیک دوچرخه را بایک تلمبه بادی کنید هوایی که به وسیلهٔ تلمبه متراکم می‌گردد گرم می‌شود. این مثالها و مثالهای بی‌شماری دیگر، مانند اینها، نشان می‌دهند که انرژی مکانیکی به گرما تبدیل می‌شود و گرمایی که از این مبادله به دست می‌آید قابل اندازه‌گیری بوده و هم ارز انرژی مکانیکی است که صرف تولید آن می‌شود. علاوه بر این گرما در موتور گرمایی مانند موتور بخار، توربین بخار و موتورهای درونسوز به کار تبدیل می‌شود. بنابراین گرما به صوت انرژی است و مانند انرژی بر حسب واحد ژول بیان می‌شود. پرسش ۱-۱ - منابع تولید گرما را که می‌شناسید

مولکولها موجود است دیگر نمی‌توانند مولکولهای را که به سرعت حرکت می‌کنند مانند حالتی که به آرامی در مجاور یکدیگر حرکت می‌نمایند نزدیک به هم نگه‌دارند.

اگر گرما سبب شود که مولکولهای يك جسم تندتر حرکت کنند عکس این حالت نیز باید درست باشد. یعنی اگر به وسیله‌ای دیگر، حرکت مولکولهای جسمی تندتر گردد آن جسم باید گرم شود. مشاهدات و آزمایشهای زیادی این مطلب را تأیید می‌کند. مثلاً اگر میخی را روی سندان بگذاریم و چند بار آن را با چکش بکوبیم ضربه‌های چکش سبب می‌شود که مولکولهای میخ تندتر حرکت کنند و بیشتر مرتعش شوند و در نتیجه میخ گرم شود.

پرسش ۱-۳ - علت گرم شدن گاز هنگامی که مبراکم می‌شود چیست ؟

گرما و انرژی درونی ماده

مولکولهای اجسام چون حرکت می‌کنند دارای انرژی جنبشی هستند و چون بین آنها نیروهای پیوستگی وجود دارد به سبب وضع یا حالتی که نسبت به یکدیگر دارند دارای انرژی پتانسیل نیز هستند (درست مانند انرژی پتانسیل جاذبه‌ای که قبلاً با آن آشنا شده‌اید). هنگامی که جسمی را گرم می‌کنیم انرژی پتانسیل و انرژی جنبشی مولکولهای آن هر دو افزایش می‌یابد. مجموع انرژی پتانسیل و انرژی جنبشی تمام مولکولهای يك ماده را «انرژی درونی» آن ماده می‌نامند.

بنابراین اگر جسمی از اجسام دیگر گرما

بگیرد انرژی درونی آن افزایش می‌یابد و اگر به اجسام دیگر گرما بدهد انرژی درونی آن کاهش می‌یابد.

دما و دماسنجی

اثر معمولی انرژی گرمایی بر روی اجسام این است که آنها را گرم می‌کند. به عبارت دیگر دما دمای گرمی آنها را بالا می‌برد.

پرسش ۱-۴ - اگر مخلوط آب و یخ را گرما بدهیم تا وقتی که یخ در آب موجود است درجه گرمی مخلوط بالا نمی‌رود. پس انرژی گرمایی چه می‌شود؟ درجه گرمی هر جسم با دمای آن جسم نیز می‌گوییم. نباید دما یا درجه گرمی را با گرما که شکلی از انرژی است اشتباه کرد. مثلاً يك کتری بزرگ پر از آب جوش و يك فنجان پر از آب جوش هر دو به يك درجه گرم هستند به عبارت دیگر دمای هر دو یکی است ولی اندازه انرژی گرمایی که در آب جوش درون کتری است خیلی بیشتر از اندازه انرژی گرمایی آب جوش درون فنجان است. در این مثال انرژی متوسط مولکول آب در هر دو ظرف یکی است ولی شماره مولکولهای موجود در آب درون کتری بیشتر از شماره مولکولهای موجود در آب درون فنجان است. اگر دو جسم دمای یکسان داشته باشند و باهم تماس داده شوند هیچ کدام به هم گرما نمی‌دهند و اگر دو جسم که دمایشان یکی نیست باهم تماس داده شوند گرما از جسم گرمتر که دمایش بیشتر است به جسم سردتر که دمایش کمتر است می‌رود. در انتقال گرما، لازم نیست که جسم گرمتر انرژی گرمایی بیشتری از جسم سردتر داشته باشد. مثلاً اگر میله داغ آهنی

را در دریا فرو بریم گرما از میله داغ به دریا انتقال می یابد. در صورتی که دریا بسیار بسیار بیشتر از میله آهنی انرژی گرمایی دارد.

ما به کمک حس لامسه خود می توانیم تا اندازه ای يك جسم گرم را از جسم سرد تشخیص دهیم ولی این احساس دقت چندانی ندارد و ممکن است اشتباه بکنیم. يك آزمایش ساده این مطلب را نشان می دهد :

سه ظرف فراهم آورید. در یکی آب یخ و در دیگری آب معمولی و در سومی آب گرم بریزید و دست راست خود را در آب یخ و دست چپ خود را در آب گرم به مدت يك یا دو دقیقه (بسته به طاقت خود) نگه دارید سپس هر دو دست را از آب سرد و گرم بیرون بیاورید و آنها را در آب معمولی فرو برید. آب معمولی را با دست راست خود گرم و با دست چپ سرد حس می کنید.

در اینجا ، احساس گرمی یا سردی نه تنها به دمای آب بستگی دارد بلکه به سوی انتقال گرما نیز بستگی دارد. دست چپ ، که در آب گرم قرار داده اید دارای دمای بیشتری از دمای آب معمولی شده است. گرما از این دست به آب معمولی منتقل می شود. به عبارت دیگر ، این دست گرما به آب می دهد و به همین جهت حس می کنید که سرد می شود. بر عکس ، دست راست شما در آب یخ بوده است که دمای آن کمتر از دمای آب معمولی است. در نتیجه گرما از آب معمولی به دست منتقل می گردد و حس می کنید که گرم می شود.

پرسش ۱-۵ - در اتاقی دومی ، یکی از آهن و دیگری از چوب موجود است و دمای هر دو یکسان و با دمای هوای اتاق برابر است ولی هنگامی که آنها را با دست لمس می کنید میز آهنی سردتر از میز چوبی حس می شود. آیا می توانید علت آن را بیان کنید ؟

به طور کلی ، يك جسم به هنگام تماس با دست در صورتی گرم به نظر می رسد که دمای آن بیشتر از دمای دست باشد و گرما از آن جسم به دست انتقال یابد و در صورتی سرد به نظر می رسد که دمای آن کمتر از دمای دست باشد و گرما از دست به آن منتقل شود.

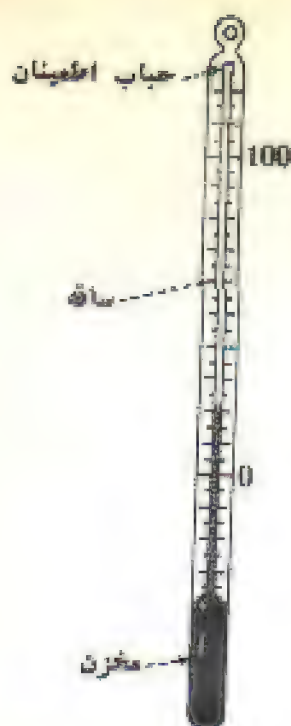
در آزمایش بالا ، اگر دو دست خود را مدتی در ظرف محتوی آب معمولی نگهدارید آن احساس متفاوت از بین می رود ، یعنی پس از گذشت مدتی هر دو دست يك نوع احساس را خواهند داشت که مربوط به دمای آب درون این ظرف است.

در واقع دماهای شما پس از فرو بردن در آب گرم و سرد دارای دماهای مختلف می شوند که هم بایکدیگر و هم با دمای آب ظرف سوم (آب معمولی) تفاوت دارند.

پس از فرو بردن دو دست در آب ظسرف سوم مدتی باید بگذرد تا دمای هر يك از دستهای شما برابر دمای آب این ظرف شود و بعد از گذشت این مدت ، دستها يك دما را پیدا خواهند کرد ، احساس شما نیز یکسان خواهد بود.

در این صورت می گوئیم در این مجموعه دست راست و دست چپ و آب ، تعادل گرمایی برقرار شده است.

از این آزمایش ساده چنین استنباط می شود که دما کمیتی است مشخص کننده حالت تعادل گرمایی. اجسام در حالت تعادل گرمایی دارای يك دما (یعنی يك درجه گرمی) هستند. برعکس ، اجسامی که دارای يك دما باشند در تعادل گرمایی بایکدیگرند. و اگر دو جسم در تعادل گرمایی با جسم سومی باشند آن دو جسم بایکدیگر نیز در تعادل گرمایی هستند.



شکل ۱-۱- دماسنج جیوه‌ای.

طرز کار این دماسنجها بر خاصیت انبساط و انقباض ظاهری جیوه در اثر تغییر دمای محیط است: وقتی که دما بالا می‌رود مخزن شیشه‌ای و جیوه درون آن هر دو منبسط می‌شوند ولی چون جیوه بیشتر از شیشه انبساط می‌یابد در لوله بالا می‌رود و مقابل درجه‌ای می‌ایستد که این درجه معرف دمای محیط است. هنگامی که دما پایین می‌آید مخزن و جیوه آن منقبض می‌شوند ولی چون جیوه بیشتر از شیشه منقبض می‌شود در لوله پایین می‌آید و دمای جدید را نشان می‌دهد.

مدرج کردن دماسنجها - نقاط ثابت دماسنجی

برای مدرج کردن دماسنجهای معمولی، لازم است دو دمای ثابت استاندارد که دستیابی به آنها آسان باشد انتخاب کرد و این دماها را روی لوله دماسنج علامت گذارد و بین علامتها را به درجه‌های مساوی تقسیم نمود. این دو دمای ثابت را نقاط ثابت بالایی و پایینی دماسنجی نامند. آزمایش نشان می‌دهد که دماهای جوش آب و ذوب یخ در فشار ثابت همواره

این موضوع یکی از قانونهای مهم و اساسی طبیعت است که اندازه‌گیری دما تا حد زیادی بر آن پایه‌گذاری شده است.

می‌دانیم خواص فیزیکی یک جسم (مانند حجم یک مایع، فشار یک گاز یا حجم ثابت، مقاومت الکتریکی یک سیم و...) در اثر تغییر دما تغییر می‌کند. این تغییرات اساس روشهای اندازه‌گیری دما را تشکیل می‌دهند و آنچه که اندازه گرفته می‌شود عبارتست از کمیت‌هایی که مشخص‌کننده تغییرات این خواصند. بنابراین برای ساختن اسبابی که دما را اندازه می‌گیرد، یعنی دماسنج ماده‌ای مناسب و کمیتی مناسب که معرف خاصیتی از این ماده است انتخاب می‌شود.

دماسنجها

دماسنجها اسبابهایی هستند که به تغییرات دما احساس می‌باشند و برای سنجش دما به کار می‌روند. دماسنجها اقسام مختلف دارند و پاره‌ای از آنها بر اساس تغییر حجم مایعات در اثر گرما درست شده‌اند.

خیلی از مردم با دماسنجهای جیوه‌ای یا الکلی آشنایی دارند. دماسنج جیوه‌ای از یک لوله خیلی باریک درست می‌شود که یک سر آن بسته و سردیگرش به مخزن کروی پر از جیوه منتهی می‌شود و درون لوله از هوا تهی است. این دماسنج معمولاً روی صفحه‌چوبی یا فلزی مدرجی نصب می‌گردد. مخزن دماسنجهای آزمایشگاه را استوانه‌ای شکل می‌سازند تا به آسانی از سوراخ چوب پنبه بگذرد و درجه‌بندی آنها روی بدنه لوله دماسنج صورت می‌گیرد (شکل ۱-۱).

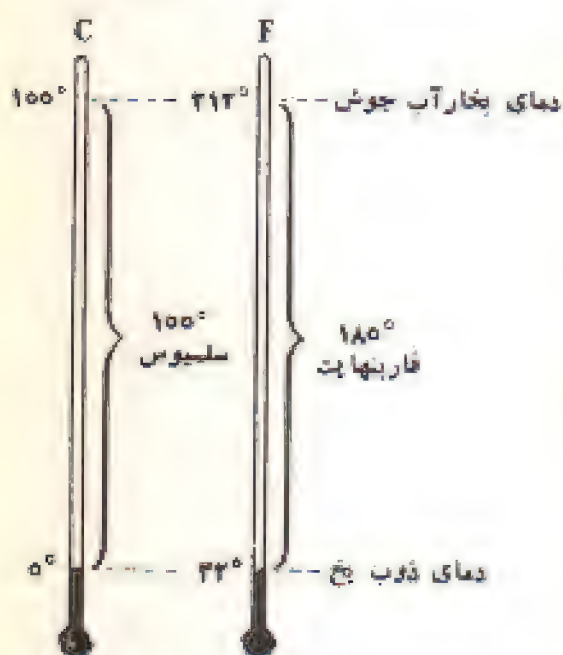
ثابت است . بنابراین نقطه ثابت بالایی را دمای بخار آب جوش انتخاب کرده اند که در فشار استاندارد اتمسفر (یعنی فشار ۷۶۰ میلیمتر جیوه) در حال جوشیدن باشد . زیرا دمای بخار در بالای سطح آب و نزدیک به آن همواره ثابت می ماند و فقط بستگی به فشار دارد .
پرسش ۶-۱ - دمای جوش آب مستقیماً برای تعیین نقطه ثابت دماسنجی به کار نمی رود . علت آن به نظر شما چیست ؟

نقطه ثابت پایینی را دمای ذوب یخ خالص در فشار استاندارد اتمسفر انتخاب کرده اند . یخ باید خالص باشد زیرا ناخالصی دمای ذوب آن را پایین می آورد . بنا به قرارداد ، نقطه ثابت بالایی به ۱۰۰ و نقطه ثابت پایینی به صفر نمایش داده شده و بین صفر و ۱۰۰ به صد قسمت مساوی تقسیم گردیده است .
پرسش ۷-۱ - بالای صد و زیر صفر را چگونه درجه بندی می کنند ؟

این درجه بندی نخستین بار به وسیله سلسیوس^۱ فیزیکدان سوئدی به سال ۱۷۴۱ میلادی وضع شده است . به همین جهت آن را درجه بندی سلسیوس می نامند و هر درجه آن را نیز یک درجه سلسیوس یا یک درجه سانتیگراد می گویند و به علامت اختصاری $^{\circ}\text{C}$ نمایش می دهند . مثلاً ۲۰ درجه سلسیوس را چنین نمایش می دهند : 20°C

درجه بندی دیگری به وسیله فارنهایت^۲ دانشمند آلمانی در سال ۱۷۲۴ میلادی وضع شده که در آن یخ و بخار آب را برای تعیین نقاط ثابت دماسنجی به کار برده است بلکه دمای مخلوطی از یخ و نشادر

(پائین ترین دمائی که در آن زمان توانسته است ایجاد کند) و دمای بدن انسان را ملاک درجه بندی قرار داده و اولی را به صفر و دومی را به ۹۶ نشان داده است^۳ . اکنون در این دماسنج نقطه ذوب یخ به ۳۲ و نقطه جوش آب به ۲۱۲ نشان داده می شود (شکل ۲-۱) و فاصله بین این دو نقطه در روی دماسنج به ۱۸۰ قسمت تقسیم می گردد . درجه بندی فارنهایت در فیزیک به کار نمی رود و در عمل هم به تدریج کنار گذاشته می شود .



شکل ۲-۱ - مقایسه درجه بندی سلسیوس و فارنهایت.

تعیین نقطه ثابت بالایی (نقطه ۱۰۰)

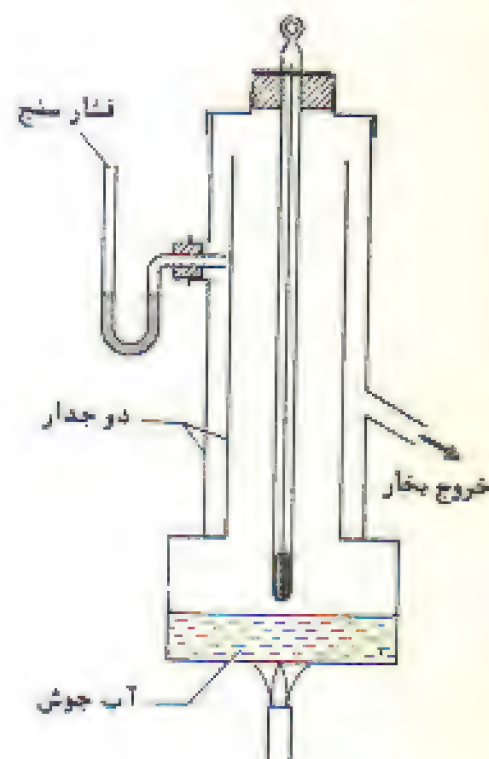
برای مدرج کردن دماسنج جیوه ای نخست آن

۱- Celcius

۲- Fahrenheit

۳ - دمای طبیعی بدن در این درجه بندی به طور دقیق ۹۸/۶ درجه است .

را درون ظرف دوجداره و پره‌ای به نام هیسومتر^۱ (شکل ۳-۱) قرار می‌دهند. آب در مخزنی که پایین ظرف است در فشار استاندارد (۷۶۰ میلی‌متر جیوه) می‌جوشد و مخزن جیوه دماسنج در نزدیکی سطح آب قرار می‌گیرد به‌طوری‌که اطراف آن را بخار آب جوش در فشار اتمسفر فرا گیرد. به دلایلی که در پارسنج به‌روش ۱-۶ بیان شده است، مخزن جیوه دماسنج نباید در آب جوش درون این ظرف غوطه‌ور شود. دماسنج که از سوراخ وسط جوب پنبه بالای هیسومتر گذشته و در میان این دستگاه متعلق است، طوری قرار داده می‌شود که سطح جیوه در لوله آن در نزدیکی سطح بالایی جسوب پنبه واقع شود. پس از آنکه تعادل گرمایی برقرار شد و سطح آزاد جیوه به‌مدت چندین



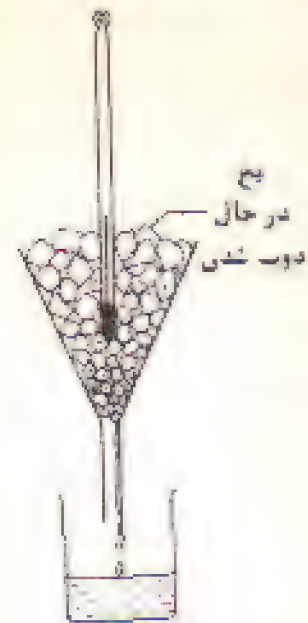
شکل ۳-۱. هیسومتر برای تعیین نقطه ۱۰۰ دماسنج

دقیقه ثابت مانند وضع آن را روی لوله دماسنج با خط باریکی نشان می‌کنند. جدار دوگانه ظرف برای این است که از افت انرژی گرمایی و در نتیجه از سرد شدن بخار اطراف دماسنج جلوگیری شود. فشارسنجی که در شکل دیده می‌شود اختلاف فشار درون ظرف را از فشار هوای بیرون آن نشان می‌دهد. اگر در موقع تعیین نقطه ۱۰۰، فشار درون ظرف بیش از ۷۶۰ میلی‌متر جیوه باشد نقطه جوش واقعی آب در فشار درون ظرف باید از روی جدولی که تغییرات نقطه جوش آب را بر حسب فشار می‌دهد معین شود، سپس جایی که جیوه در فشار ۷۶۰ میلی‌متر درون لوله دماسنج خواهد ایستاد با دقت نشان شود. این نشانه درجه ۱۰۰ دماسنج در درجه‌بندی سلسیوس خواهد بود.

تعیین نقطه ثابت پایینی (نقطه صفر)

پس از تعیین نقطه بالای، مخزن دماسنج را درون یخ خالص خرد شده که در ظرف قیف مانند ریخته شده و در حال ذوب شدن است قرار می‌دهند. (شکل ۳-۱). جیوه در لوله دماسنج پائین می‌آید تا این که سطح آن در نقطه‌ای ثابت بماند. باید دقت کرد که سطح جیوه در نزدیکی سطح یخ درون ظرف قرار گیرد تا دمای محیط خارج بر روی جیوه درون لوله اثری نداشته باشد. وقتی که سطح جیوه در لوله دماسنج ثابت ماند به عبارت دیگر وقتی تعادل گرمایی به خوبی برقرار شد و سطح آزاد جیوه را روی لوله با یک خط باریک دیگر نشان می‌کنند، این خط نمایش صفر

دماسنج در درجه بندی سلیوس خواهد بود .



شکل ۱-۴ - طرز تعیین نقطه صفر دماسنج

یونانی θ (تا) نمایش درجه سلیوس است . مثلاً 5°C تقریباً برابر $273\text{K} = 0 + 273$ است و 100°C تقریباً معادل $373\text{K} = 100 + 273$ است.

پرسش ۸-۶ - دمای طبیعی بدن که 37°C است چند درجه کلوین است ؟
درجه بندی کلوین این برتری را بر درجه بندی سلیوس دارد که تمام دماها چه پایین چه بالا با علامت مثبت نمایش داده می شوند.

دامنه کاربرد دماسنجها

دامنه کاربرد دماسنجهای جیوه ای و الکلی بستگی به دماهای انجماد و جوش جیوه و الکل دارند. جیوه در فشار يك اتمسفر (۷۶۰ میلیمتر جیوه) در 39°C - منجمد می شود و در دمای 357°C به جوش می آید . بنابراین دماسنج جیوه ای را فقط می توان برای سنجش دماهای واقع بین این دو دما به کاربرد. الکل در 115°C - منجمد می شود و در 78°C می جوشد. بدیهی است دامنه کاربرد دماسنجهای الکلی نیز به این دو دما محدود می شود .

پرسش ۹-۹ - در نقاط نزدیک به قطب، مانند شمال کانادا و شمال روسیه، که در زمستان دمای هوا از 40°C - پایین تر می رود چه نوع دماسنجی برای سنجش دمای هوا مناسب تر است ؟

برای سنجش دماهای پایین تر از نقطه انجماد الکل تا 200°C - از مایع پنهان به جای الکل در دماسنج استفاده می شود .

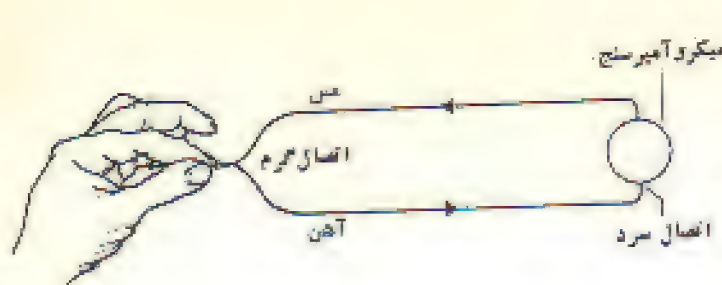
صفر مطلق - درجه بندی مطلق

پایین ترین حد دما $273/15^{\circ}\text{C}$ - است که « صفر مطلق » نامیده میشود . در این دما انرژی درونی ماده برخلاف تصور صفر نیست ، بلکه به کمترین مقدار خود می رسد.

صفر مطلق مبنای درجه بندی دیگری است که به آن درجه بندی مطلق یا درجه بندی کلوین (به نام لرد کلوین^۱ فیزیک دان انگلیسی) گویند . يك درجه کلوین معادل يك درجه سلیوس است و درجه کلوین به علامت اختصاری « K » نمایش داده می شود . بین درجات کلوین و درجات سلیوس رابطه زیر برقرار است :

$$T = 273/15 + \theta \quad (1-1)$$

که در آن حرف T نمایش درجه کلوین و حرف



شکل ۶-۱- پدیده ترموالکتریک

هر گاه محل اتصال دوسیم را گرم کنید در مدار جریان الکتریسته به وجود می آید و عقربه میکرو آمپرسنج منحرف می شود. این پدیده را ترموالکتریک می گویند. شدت جریان در مدار بستگی به اختلاف دماهای بین محل اتصال دوسیم به یکدیگر و محل اتصال سیمها به میکرو آمپرسنج دارد و می توان میکرو آمپرسنج را بر حسب این اختلاف دما مدرج کرد.

برای اندازه گیری دماهای خیلی پایین و خیلی بالا روشهای فیزیکی دیگری مانند تغییر فشار گازها یا دما یا تغییر میزان انرژی تابشی اجسام در اثر تغییر دما و . . . به کار برده می شوند که در سالهای بعد آنها را خواهید آموخت.

پایین ترین دمای ممکن به طوری که دیدید صفر مطلق (-273°C) است. بالاترین دما حد مشخصی ندارد: دمای کوره های الکتریکی را ممکن است به حدود 3000°C رسانید، دمای سطح خورشید در حدود 6000°C و دمای مرکز آن در حدود 25 میلیون درجه سلسیوس تخمین زده می شود.

دماسنج ماگزیمم و می نیمم

این دماسنج را معمولاً باغداران در محل پرورش گلها و نهالها به کار می برند. ممکن است در پشتهای

پرشی ۱-۵-۱- آیا می توان آب را به عنوان مایع دماسنجی به کار برد؟

پاره ای از دماسنجها بسته به کاربردشان دامنه عمل بسیار محدودی دارند. مثلاً دماسنج پزشکی که برای اندازه گیری دمای بدن ساخته شده است فقط برای چند درجه بالاتر و پایین تر از دمای طبیعی بدن که به طور متوسط 37°C است مدرج شده است (از 35°C تا 42°C ، شکل ۵-۱).



شکل ۵-۱ دماسنج پزشکی.

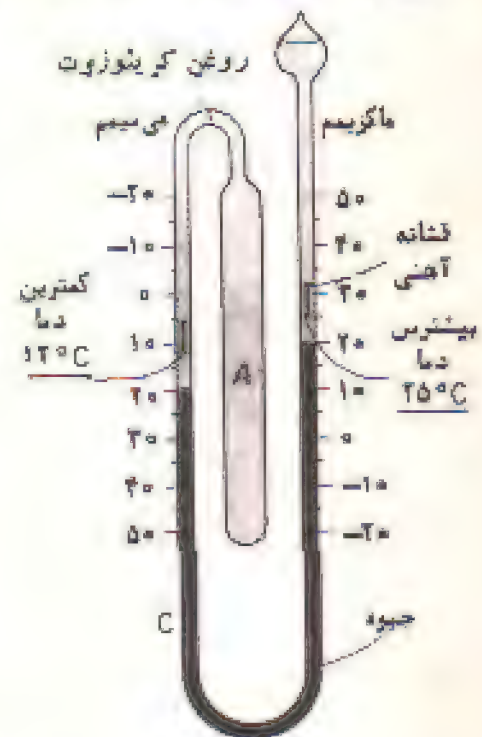
این دماسنج معمولاً به مدت ۲ دقیقه زیر زبان مریض گذاشته می شود تا اطمینان حاصل شود که دمای بدن را کاملاً درست نشان می دهد. وقتی که دماسنج از دهان مریض خارج می شود جیوه درون مخزن آن به سرعت منقبض می شود ولی جیوه درون لوله به علت خبیدگی باریکی که بالای مخزن وجود دارد خود به خود به مخزن بر نمی گردد و امکان می دهد که دما یا فرصت خوانده شود. پیش از آن که دماسنج دوباره به کار رود باید آن را تکان دهند تا جیوه درون لوله به مخزن دماسنج برگردد.

در پاره ای از صنایع برای سنجش دما، دماسنجهای ترموالکتریکی به کار برده می شوند. ساختمان این دماسنجها بر اساس تولید جریان الکتریسته در اثر گرم شدن محل اتصال دو فلز مختلف است. با یک آزمایش ساده می توانید این پدیده را نشان دهید:

یک سر دوسیم آهنی و مسی را بهم بتایید و دو سر آزاد آنها را به دو محل اتصال یک میکرو آمپرسنج یا یک میلی آمپرسنج حساس وصل کنید (شکل ۶-۱).

هواشناسی نیز مورد استفاده قرار گیرد. هدف از کاربرد آن این است که ماکزیمم و می نیمم دما را در شبانه روز معین کند. به طور کلی دمای محیط در شب به می نیمم و در روز به ماکزیمم می رسد.

این دماسنج دارای يك مخزن استوانه ای شکل A است که پر از الکل یا غالباً پر از روغن کریئوزوت^۱ می باشد. این مخزن به لوله باریك U مانند ی متصل است که محتوی جیوه بوده و به جابجایی کوچکی که آن هم محتوی الکل یا روغن کریئوزوت است ولی کاملاً پرنیست منتهی می شود (شکل ۱-۷). دو درجه بندی



شکل ۱-۷- دماسنج ماکزیمم و می نیمم

جدا گانه یکسان در دو شاخه لوله U وجود دارد به طوری که می توان دما را روی هر يك از این درجه بندی ها قابل سطح جیوه خواند. دو نشانه فولادی كوچك بالای سطح جیوه در دو شاخه لوله دماسنج درون الکل قرار داده شده است که با اصطکاک ملایمی می توانند در لوله بلغزند. انبساط یا انقباض مایع در مخزن A

سبب حرکت ستون جیوه درون لوله می گردد، در نتیجه یکی از این نشانه ها به وسیله جیوه به جلورانده می شود و به وضع نهائی خود که می رسد در آن جا متوقف می ماند بنابراین سر پایینی نشانه سمت چپ، می نیمم و سر پایینی نشانه سمت راست ماکزیمم دما را نشان می دهد.

گرماسنجی و واحدهای گرما

گفتیم گرماسودتی از انرژی است که بر اثر اختلاف دما از جایی که دمايش بیشتر است به جایی که دمايش کمتر است انتقال می یابد. و مانند انرژی های دیگر با واحد ژول سنجیده می شود.

دانش اندازه گیری و سنجش گرما را گرماسنجی یا کالریمتری گفته اند و برای سنجش گرما واحدهایی به کار برده اند که اکنون آنها را در فیزیک به کار نمی برند. ولی لازم است در اینجا از دو واحد مهمتر که کاربرد عمومی دارند نام ببریم تا نقشی که در سنجش و اندازه گیری گرما داشته اند نشان داده شود. این دو واحد عبارتند از کالری (با علامت اختصاری cal) و کیلوکالری (kcal).

کالری بنا به تعریف مقدار گرمایی است که لازم است تا دمای يك گرم آب را 1°C بالا ببرد. کیلوکالری مقدار گرمایی است که لازم است تا دمای يك کیلو گرم آب را 1°C بالا ببرد. بدیهی است: $1\text{ kcal} = 10^3\text{ cal}$ کیلوکالری بیشتر برای سنجش میزان انرژی گرمایی غذاها به کار رفته است.

يك كالري تقريباً معادل $4/2$ ژول و يك كيلو كالري تقريباً معادل 4200 ژول است .

ظرفيت گرمایی يك جسم، از هر جسي كه باشد، چنين تعريف می شود :

اندازه گرمایی كه لازم است تا دمای جسم را 1°C بالا بود .

ظرفيت گرمایی

واحد ظرفيت گرمایی در دستگاه بين المللی واحدها $\frac{\text{ژول}}{\text{درجه سلسيوس}}$ ($\text{J}/^{\circ}\text{C}$) است. واحدی كه در سابق برای اندازه گیری ظرفيت گرمایی به كار می رفت $\text{cal}/^{\circ}\text{C}$ يا $\text{kcal}/^{\circ}\text{C}$ بود .

ظرفيت گرمایی ویژه

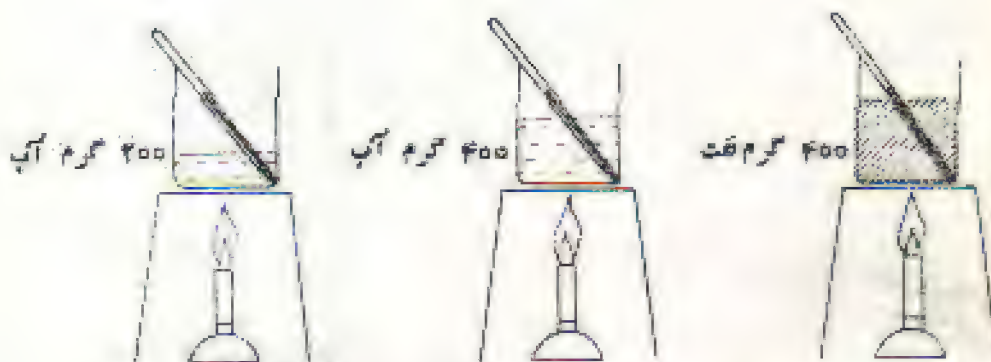
وقتي كه ظرفيت گرمایی مواد مختلف را با هم مقایسه می كنیم گفتگو از ظرفيت گرمایی ویژه به میان می آوریم :

ظرفيت گرمایی ویژه يك ماده بنا به تعريف اندازه گرمایی است كه لازم است تا دمای واحد جرم آن ماده را 1°C بالا ببرد . ظرفيت گرمایی ویژه با علامت اختصاری c نمایش داده می شود ، و واحد آن در دستگاه بين المللی واحدها $\frac{\text{ژول}}{\text{كيلو گرم . درجه سلسيوس}}$ ($\text{J}/\text{kg }^{\circ}\text{C}$) است .

واحد گرمایی كه در سابق به كار می رفت

می دانید اثر معمولی گرما بر اجسام این است كه دمای آنها را بالا می برد ولی افزایش دمای اجسام در اثر گرما بستگی به جرم و جنس آنها دارد . يك آزمایش ساده این مطلب را نشان می دهد و شكل ۸-۱ آن را مجسم می كند :

سه ظرف يكسان انتخاب كنید ، در یکی 200 / 5 كيلو گرم آب و در دیگری 400 / 5 كيلو گرم آب و در سومی 400 / 5 كيلو گرم نفت كه دمای آنها يكسان و مثلاً 20°C است بریزید . آنها را به ترتیب روی شعله و بكنواخت و ملایمی بگذارید و به هم بریزید و بالا رفتن دما را با دماسنج نشان كنید . اگر دمای 200 / 5 كيلو گرم آب مثلاً در مدت 3 دقیقه به اندازه 10°C بالا رود و به 30°C برسد مدت 6 دقیقه لازم است تا دمای 400 / 5 كيلو گرم آب به 30°C برسد و در حدود 4 دقیقه لازم است تا دمای 400 / 5 كيلو گرم نفت به 30°C برسد .



شكل ۸-۱- افزایش دما بستگی به جرم و جنس جسي كه گرم می شود دارد

cal/g°C یا kcal/kg°C بود .

نگه می دارد. ظرفیت گرمایی ویژه در دماهای مختلف متفاوت می باشد، به این دلیل در محاسبات از ظرفیت گرمایی ویژه متوسط استفاده می شود.

در جدول ۱-۱ ظرفیت گرمایی ویژه چند جسم داده شده است .

پرسش ۱ = ۱۱ - در تابستان در ساحل دریا هنگام روز، معمولاً باد از دریا به خشکی و هنگام شب از خشکی به دریا می وزد . آیا می توانید علت آن را توضیح دهید ؟

ظرفیت گرمایی ویژه آب خیلی بیشتر از ظرفیت گرمایی ویژه اغلب اجسام است . این خاصیت سبب می شود که هوای مناطق مجاور دریاها و دریاچه ها در تابستان خنک تر و در زمستان گرم تر از هوای مکانهای هم عرض و هم ارتفاع دیگر باشند . زیرا ، ظرفیت گرمایی ویژه آب خیلی بیشتر از ظرفیت گرمایی ویژه هوا و خاک است . در نتیجه ، دریاها و دریاچه ها مخزن ذخیره گرما برای مناطق اطراف خود می باشند. در تابستان که دمای محیط افزایش می یابد دریاچه و دریا خیلی بیشتر از هوا یا خاک اطراف خود گرما جذب می کند و بنا بر این مناطق اطراف آن خنک می شوند . در زمستان که هوای محیط رو به سردی می رود دریاچه یا دریا گرمایی را که ذخیره کرده است ، به محیط اطراف خود پس می دهد و آن را گرم

بر آورد اندازه گرما

اگر يك قطعه آهن به جرم ۵۵۰ / کیلو گرم و به ظرفیت گرمایی ویژه ۴۶۰ J/kg °C از ۸۰°C تا ۲۰°C سرد شود چند ژول گرما از دست می دهد؟ این که می گوئیم ظرفیت گرمایی ویژه آهن ۴۶۰ J/kg °C است بدین معنی است که يك کیلو گرم آهن ۴۶۰ ژول انرژی گرمایی می دهد یا می گیرد

جدول ۱-۱ - ظرفیت گرمایی ویژه متوسط چند جسم بر حسب J/kg°C

جامدات		مایعات	
۹۰۰	آلومینیم	۴۲۰۰	آب خالص
۴۶۰	آهن	۳۹۰۰	آب دریا
۳۸۰	برنج (آلیاژ مس و روی)	۲۲۰۰	الکل چوب
۳۸۰	روی	۱۴۰	جیوه
۱۳۰	سرب	۲۴۰۰	نفت
۶۷۰	شیشه معمولی		
۴۰۰	مس		
۲۱۰۰	یخ		

تا دمای 1°C تغییر کند. بنابراین $0/550$ کیلو گرم آهن برای این که يك درجه سرد شود به اندازه $0/550 \times 460 = 253$ گرم آهن می دهد. بدینوسیله $0/550$ کیلو گرم آهن برای این که دمای از 80°C به 20°C برسد به اندازه $0/550 \times 460 (80 - 20) = 1380$ گرم آهن می دهد.

رابطه بالا را به صورت کلیات می نویسیم :

= انرژی گرمایی داده شده یا گرفته شده

تغییر دما \times ظرفیت گرمایی ویژه \times جرم

و اگر علامتهای اختصاری این کمیتها را به کار ببریم خواهیم داشت :

$$Q = mc(\theta_2 - \theta_1) \quad (2-1)$$

انرژی گرمایی داده شده یا گرفته شده به ژول $Q =$

جرم به کیلو گرم $m =$

دمای بالاتر به $^{\circ}\text{C}$ $\theta_2 =$

دمای پایین تر به $^{\circ}\text{C}$ $\theta_1 =$

تغییر دما $\theta_2 - \theta_1 =$

چند مثال دیگر :

۱- 100 گرم آب 70°C را با 200 گرم آب 10°C در ظرفی مخلوط کرده و به هم می زنیم . اگر گرمایی که ظرف می گیرد یا به هدر می رود ناچیز فرض شود دمای نهایی تعادل مخلوط چیست ؟

گرمایی که ظرف می گیرد یا به هدر می رود ناچیز فرض شده است . بنابراین :

گرمایی که آب سرد می گیرد برابر است با گرمایی که آب گرم از دست می دهد.

در جدول ۱-۱ ظرفیت گرمایی ویژه آب 4200 ژول / کیلو گرم . درجه سلسیوس داده شده است. اگر دمای نهایی مخلوط θ باشد :

تغییر دمای آب گرم برابر است با $70 - \theta$

تغییر دمای آب سرد برابر است با $\theta - 10$

با استفاده از رابطه $Q = mc(\theta_2 - \theta_1)$ خواهیم داشت :

$$0/1 \times 4200(70 - \theta) = 0/2 \times 4200(\theta - 10)$$

پس از حذف 4200 از دو طرف این معادله نتیجه می شود :

$$7 - 0/1\theta = 0/2\theta - 2$$

یا $9 = 0/3\theta$

و دمای نهایی مخلوط $\theta = 30^{\circ}\text{C}$ خواهد بود .

۲- يك قطعه مس به جرم 250 گرم و به دمای 100°C در يك ظرف آلومینیومی به جرم 10 گرم که محتوی 120 گرم الکل چوب به دمای 10°C است انداخته می شود . دمای نهایی تعادل پس از آن که الکل خوب به هم زده شد چیست ؟ گرمایی که همزن می گیرد یا به هدر می رود ناچیز فرض می شود.

در اینجا مس گرما می دهد و الکل و ظرف گرما می گیرند .

اگر دمای نهایی تعادل θ فرض شود با مراجعه به جدول ۱-۱ خواهیم داشت :

گرمایی که قطعه مس از دست می دهد تا دمای از 100° به θ برسد برابر است با :

$$0/250 \times 400(100 - \theta) = 100(100 - \theta)$$

گرمایی که ظرف آلومینیومی می گیرد تا دمای از 10° به θ برسد برابر است با :

$$0/010 \times 900(\theta - 10) = 9(\theta - 10)$$

گرمایی که الکل می گیرد تا دمای از 10° به θ برسد برابر است با :

$$0/120 \times 2400(\theta - 10) = 288(\theta - 10)$$

چون :

چشمایع یا گاز (منبسط می شوند .

= گرمایی که پس از دست می دهد
گرمایی که الکل می گیرد + گرمایی که ظرف می گیرد
بنابراین :

$$100(100 - \theta) = 9(\theta - 10) + 288(\theta - 10)$$

$$یا \quad 10000 - 100\theta = 297\theta - 2970$$

$$یا \quad 12970 = 397\theta$$

$$یا \quad \theta = \frac{12970}{397} = 32.7^\circ C$$

۳- يك قطعه فلز به جرم ۵۰۰ گرم را تا $100^\circ C$ گرم کرده و در ۲۰ گرم آب $15^\circ C$ می اندازند و آب را به هم می زنند. اگر دمای نهایی آب $21^\circ C$ و اختلاف گرما ناچیز باشد ظرفیت گرمایی ویژه فلز چیست ؟
اگر ظرفیت گرمایی فلز ۵ ژول بر کیلو گرم درجه باشد :

گرمایی که قطعه فلز از دست می دهد
= $0.5 \times 500 \times (100 - 21) = 0.5 \times 50 \times 79$
گرمایی که آب می گیرد

$$= 0.2 \times 4200 \times (21 - 15)$$

$$= 0.2 \times 4200 \times 6$$

بنابراین :

$$0.5 \times 50 \times 79 = 0.2 \times 4200 \times 6$$

$$یا \quad 29.50 = 5040$$

$$C = \frac{5040}{39.5} = 128 \text{ J/kg } ^\circ C$$

اثرهای گرما بر ماده

دانستید که گرما ضمن این که سرعت حرکت مولکولهای اجسام را زیادتر می کند فواصل بین مولکولها را نیز افزایش می دهد و در نتیجه اجسام (چه جامد و

می دانید که مولکولها یا اتمهای اجسام جامد، اغلب در شبکه های منظم بلوری ، نزدیک به هم قرار گرفته اند و به شدت یکدیگر را جذب کرده اند و در اطراف وضع تعادل خود حرکت ارتعاشی دارند . در مایعات و به ویژه در گازها حرکت مولکولها سریعتر از جامدات است و نیروهای جاذبه مولکولی به اندازه ای نیست که مولکولها را مانند حالت جامد در وضع ثابتی نسبت به یکدیگر نگه دارد و به همین علت مایعات و گازها در اثر گرما بیشتر از جامدات منبسط می شوند. هر گاه انرژی گرمایی که به جامد یا مایع داده می شود زیاد باشد به طوری که دمای آنها را خیلی بالا برد حرکت مولکولهای آنها آنقدر سریع می شود که دیگر نیروهای جاذبه مولکولی نمی توانند مولکولها را مجاور هم نگه دارند . در این صورت جامد به مایع و مایع به بخار تبدیل می شود و در پاره ای موارد جامد مستقیماً به بخار تبدیل می شود .

اثرهای انرژی گرمایی بر ماده را از دو نظر می توان مشاهده و بررسی کرد: یکی از نظر آثار ظاهری که با چشم دیده می شوند (پدیده های ماکروسکوپی) و دیگری از نظر تغییراتی که در وضع مولکولها و انرژی درونی ماده حاصل می گردد و با چشم مستقیماً دیده نمی شود (پدیده های میکروسکوپی) . اینک از نظر ماکروسکوپی به شرح چنداندر می پردازیم :

۱- انبساط جامدات - به جز موارد استثنایی

خیلی نادر اغلب جامدات در اثر گرما منبسط می شوند. انبساط جامدات بسته به شکل آنها ممکن است طولی ، سطحی یا حجمی باشد .

الف- انبساط طولی جامدات - در صورتی

که جسم جامد به شکل سیم یا میله و مانند اینها

باشد انبساط آن به شکل افزایش طول ظاهر می شود. در این صورت انبساط جامد را انبساط طولی می گویند. برای مقایسه میزان انبساط طولی اجسام جامد معمولاً برای آنها ضریب انبساط طولی تعریف می کنند.

ضریب انبساط طولی یک جسم جامد چنین تعریف می شود :

اندازه انبساط واحد طول جامد وقتی که دمای آن 1°C افزایش یابد.

ضریب انبساط طولی جامدات خیلی کوچکتر در حدود 10^{-5} (صدهزارم) است. مثلاً اگر دمای یک میله آهنی به طول یک متر از 0°C به 100°C برسد طول میله فقط $1/2$ میلیمتر ($0/0012$ متر) افزایش می یابد، بنابراین ضریب انبساط طولی متوسط آن $12/00005/10^{-5}$ (یعنی $1/2 \times 10^{-5}$ بر درجه) است. فرض کنید L_1 طول اولیه یک میله فلزی و λ ضریب انبساط طولی آن باشد. اگر دمای میله را θ درجه بالا ببریم طول آن به اندازه $L_1 \lambda \theta$ افزایش می یابد.

طول جدید میله (L_2) برابر خواهد بود با :
 افزایش طول + طول اولیه = طول جدید
 یا $L_2 = L_1 + L_1 \lambda \theta$

$$L_2 = L_1 (1 + \lambda \theta) \quad (3-1) \quad \text{یا}$$

مثال - طول یک میله آهنی در دمای 25°C یک متر است. اگر دمای میله به 40°C برسد طول جدید آن چه اندازه خواهد شد؟ ضریب انبساط طولی آهن $1/2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ است.

طول اولیه میله $L_1 = 1\text{m}$
 دمای اولیه میله $\theta_1 = 25^{\circ}\text{C}$

$$\begin{aligned} \theta_2 &= 40^{\circ}\text{C} \quad \text{دمای آخری میله} \\ \theta &= \theta_2 - \theta_1 = 40 - 25 = 15^{\circ}\text{C} \quad \text{افزایش دما} \\ L_1 \lambda \theta &= 1\text{m} \times 1/2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C} \times 15^{\circ}\text{C} \\ &= 1/8 \times 10^{-4}\text{m} \quad \text{افزایش طول میله} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_2 &= L_1 + L_1 \lambda \theta = 1\text{m} + 1/8 \times 10^{-4}\text{m} \\ &= 1/00018\text{m} \quad \text{طول جدید میله} \end{aligned}$$

ضریب انبساط طولی جامدات مقدار ثابتی نیست و با دما تغییر می کند. در صورتی که افزایش دما خیلی زیاد نباشد می توان از تغییرات آن صرف نظر کرد. در جدول ۱-۲ ضریب انبساط طولی متوسط چند جسم جامد برای مقایسه داده شده است.

پرسش ۱-۱۳ - با مراجعه به جدول ۱-۲ بگویید علت این که درون پایه های بتونی فقط میله های آهنی قرار می دهند چیست ؟

جدول ۱-۲ - ضریب انبساط طولی متوسط چند جسم جامد بین 0°C و 100°C

$2/6 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$	آلومینیم
$5/1 \times 10^{-5}$	انوار (آلیاژ فولاد و نیکل)
$1/2 \times 10^{-5}$	آهن
$1/1 \times 10^{-5}$	بتون
$1/9 \times 10^{-5}$	برنج
$2/9 \times 10^{-5}$	دوی
$2/2 \times 10^{-5}$	سرب
$5/042 \times 10^{-5}$	سیلیس (کوارتز)
$5/85 \times 10^{-5}$	شیشه معمولی
$1/2 \times 10^{-5}$	مس
$1/8 \times 10^{-5}$	نقره

اختلاف انبساط دو فلز مختلف مانند مس (یا برنج) و آهن را می توان به وسیله دو تیفه یکی از مس و دیگری از آهن که در دمای معمولی هم طول بوده و روی هم میخ پرچ شده اند (شکل ۱-۹) نشان داد. اگر دو تیفه با هم گرم شوند به علت اختلاف میزان انبساط، خمیدگی پیدا می کنند به طوری که تیفه مسی که ضریب انبساط بزرگتری دارد قوس بیرونی و تیفه آهن قوس درونی را تشکیل می دهد. دو تیفه را به جای میخ پرچ کردن می توان سرتاسر به هم جوش داد.

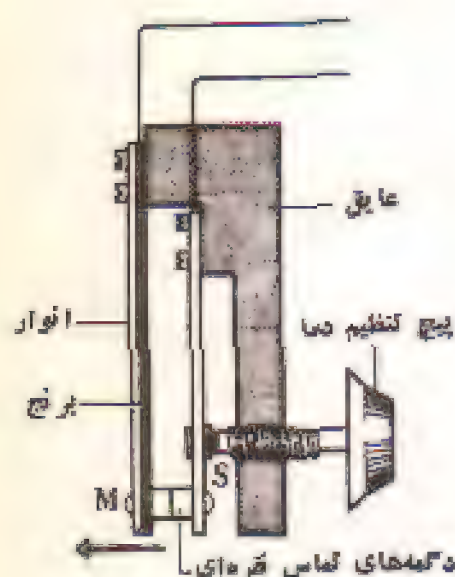


شکل ۱-۹ دو تیفه فلزی مختلف به هم پرچ شده در اثر گرما خمیدگی پیدا می کنند.

پرش ۱-۱۳ - اگر دمای این دو تیفه فلزی پایین تر از دمای معمولی برود وضع خمیدگی آن چگونه خواهد شد ؟

دو تیفه فلزی ، که در بالا شرح آن داده شد در صنعت زیاد به کار می رود و مهمتر از همه در ترموستات الکتریکی است که برای تنظیم و یکسان نگاه داشتن دما به کار می رود . شکل ۱-۱۰ اساس ساختمان ترموستاتی را نشان می دهد که برای کنترل و تنظیم دمای اتوی الکتریکی یا آب گرم کن الکتریکی یا دمای اتاقی که به وسیله بخاری الکتریکی گرم می شود و مانند اینها به کار می رود . جریان الکتریکی که باید

از دستگاه گرم کن بگذرد از این ترموستات نیز می گذرد. در محل قطع جریان ، دو دگمه تماس نقره ای است که یکی به «دو تیفه فلزی» M و دیگری به تیفه فلزی ثابت S متصل است . اگر دمای اتو یا آب گرم کن یا اتاقی که بخاری در آن قرار دارد از اندازه معینی که پیش بینی شده است بالاتر برود دو تیفه فلزی خمیدگی پیدا می کند و دو دگمه تماس از هم جدا می شوند و جریان قطع می گردد . پس از پایین آمدن دما ، دوباره دو تیفه به جای خود بر می گردد و جریان الکتریسته برقرار می شود . دمایی که باید در آن دما دو دگمه تماس از هم جدا شوند به وسیله پیچ تنظیمی که از مهره عایق پشت تیفه S گذشته و بر این تیفه تکیه دارد کنترل می شود.



شکل ۱-۱۰- ترموستات

اندازه گیری ضریب انبساط طولی فلزات برای اندازه گیری ضریب انبساط طولی جامدات روشها و اسبابهای مختلفی به کار می رود . یکی از این اسبابها که برای اندازه گیری ضریب انبساط طولی

فلزات مورد استفاده قرار می‌گیرد در شکل (۱-۱۱) نشان داده شده است. یک میله فلزی را که طول آن در حدود ۵ سانتیمتر است و از ابتدا بادقت اندازه‌گیری می‌شود، درون لوله شیشه‌ای که در آن بخار آب جریان می‌یابد بین یک مانع ثابت S و ریز سنج M قرار می‌دهند و پیش از آن که بخار آب را از لوله بگذرانند پیچ ریز سنج را پیچانیده و جلومی‌برند تا با سرفیله تماس حاصل کند و درجه ریز سنج را می‌خوانند و یادداشت می‌کنند، دمای میله را نیز به وسیله دماسنجی که درون لوله است می‌خوانند و یادداشت می‌نمایند. سپس پیچ ریز سنج را چند دور در خلاف جهت اول می‌پیچانند تا تماس آن با میله قطع و بین میله و پیچ ریز سنج فاصله کوتاهی ایجاد شود، بعد جریان بخار آب جوش را در مدت چند دقیقه از لوله عبور می‌دهند وقتی که تعادل دمایی برقرار شد پیچ ریز سنج را می‌پیچانند تا دوباره با میله تماس پیدا کند و درجه آن را می‌خوانند و یادداشت می‌کنند. برای احتیاط، باز دیگر پیچ ریز سنج را پیچانیده و عقب می‌برند و چند دقیقه دیگر عبور بخار آب را ادامه می‌دهند و مجدداً تماس ریز سنج را با میله برقرار می‌سازند تا مطمئن شوند که دمای میله کاملاً با دمای بخاریکی است، سپس دمای بخار را روی دماسنج می‌خوانند و یاد-

داشت می‌کنند. برای مثال، در نظر بگیرید که آزمایشی روی یک میله برنجی انجام گرفته و نتایج زیر به دست آمده است.

طول اولی میله برنجی 502.00 mm

دمای اولی میله 16.6°C

دمای آخری میله 99.5°C

اولین قرائت درجه ریز سنج 4.27 mm

آخرین قرائت درجه ریز سنج 3.48 mm

ضریب انبساط میله به ترتیب زیر حساب می‌شود:

افزایش دمای میله $99.5 - 16.6 = 82.9^{\circ}\text{C}$

اندازه انبساط طول میله $4.27 - 3.48 = 0.79 \text{ mm}$
 $= 0.079 \text{ cm}$

ضریب انبساط $\frac{0.079}{50.2 \times 82.9} = 0.000019 / ^{\circ}\text{C}$ طولی میله

ب- انبساط سطحی جامدات - سطح اجسام

جامد نیز در اثر گرما منبسط می‌شود.

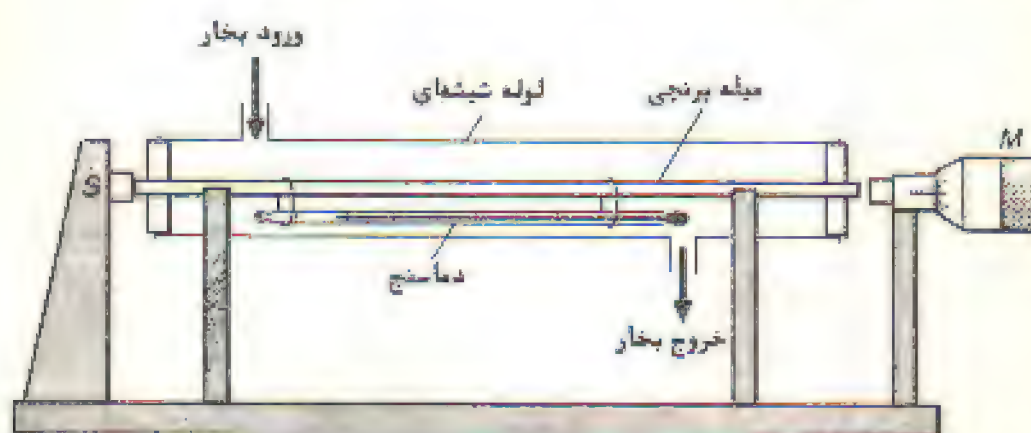
با استدلالی نظیر آنچه در مورد انبساط طولی

جامدات بیان شد سطح یک جسم جامد نیز

طبق رابطه زیر منبسط می‌شود.

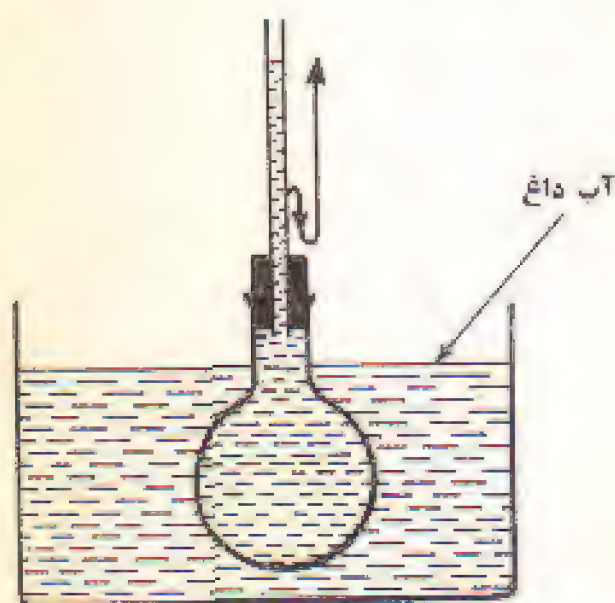
اندازه انبساط واحد سطح جامد تقریباً دو برابر

ضریب انبساط طولی آن است.



شکل ۱-۱۱ - اندازه‌گیری ضریب انبساط طولی

(شکل ۱-۱۲)، به طوری که آب کمی در لوله بالا آید و بالون را در ظرف آب داغی فرو برید. نخست بالون در مجاورت با آب داغ منبسط می شود و سطح مایع در لوله اندکی پایین می آید ولی بعد مایع به تدریج گرم شده و بیشتر از ظرف خود منبسط می شود و سطح مایع در لوله بالا می رود و بالاتر از جایی که ابتدا ایستاده بود قرار می گیرد.



شکل ۱-۱۳. انبساط ظاهری مایع

پرسش ۱-۱۴ - مخزن دماسنجهای دقیق جیوه ای را از کوارتز می سازند. با توجه به جدول ۱-۲ بگویید علت آن چیست؟

مقایسه انبساط مایع های مختلف

باید در نظر داشت که مایعات فقط انبساط حجمی دارند و ضریب انبساط حجمی مایعات مختلف متفاوت است. برای نشان دادن این تفاوت چند بالون یکسان نسبتاً بزرگ را که هر یک به لوله ای باریک و بلند

$$A_2 = A_1(1 + \gamma \lambda \theta) \quad (4-1)$$

ج- انبساط حجمی جامدات - انبساط حجمی یک جسم جامد ممکن، نتیجه انبساط طولی آن در همه جهات درون جامد است. اگر انبساط طولی در همه جهات یکسان باشد ضریب انبساط حجمی جامد (که بنا به تعریف عبارت است از اندازه انبساط واحد حجم جامد وقتی که دمای آن 1°C بالا برود) تقریباً سه برابر ضریب انبساط طولی آن است. در این صورت اگر V_1 حجم جسم جامد قبل از انبساط و θ افزایش دما و K ضریب انبساط حجمی جامد باشد حجم آن بعد از انبساط V_2 می باشد و اندازه آن برابر خواهد بود با:

$$V_2 = V_1(1 + K\theta) \quad (5-1)$$

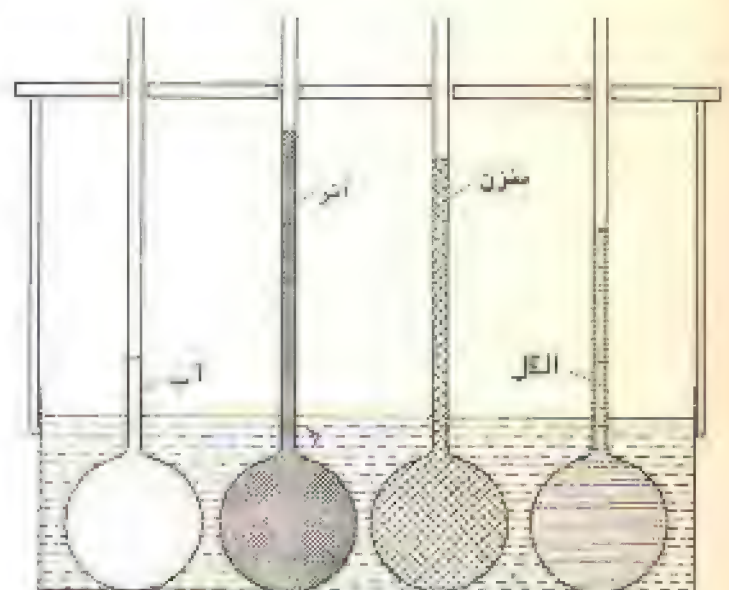
$$K = \gamma \lambda$$

۲- انبساط مایعات - گفتیم که مایعات از

جامدات بیشتر منبسط می شوند؛ به عبارت دیگر ضریب انبساط حجمی مایعات از ضریب انبساط حجمی جامدات بزرگتر است. چون مایعات تابع ظرف خود هستند به هنگام انبساط ظرف و مایع هردو منبسط می شوند. بنابراین انبساطی که مشاهده می شود ظاهری است نه حقیقی. ما ضمن شرح ساختمان دماسنجهای مایعی انبساط ظاهری جیوه و الکل را متذکر شدیم. اینک بایک آزمایش ساده می توانید انبساط ظاهری مایعات را مشاهده کنید:

یک بالون شیشه ای را از آب یا مایع دیگر پر کنید و با چوب پنبه ای که لوله شیشه ای باریک و بلندی از میان آن گذرانیده اید دهانه بالون را ببندید

منتهی می شود تا قسمت پایینی لوله آزمایشهای مختلف مانند آب و الکل و اترو بتزن بر می کنیم و بالونها را در ظرفی که محتوی آب سرد است فرو می بریم و صبر می کنیم تا دمای همه آنها یکی شود. در صورت لزوم به هر يك مقدار کمی از مایع درون آن اضافه می کنیم تا سطح آزاد مایع در همه یکی باشد. سپس ظرف آب را گرم می کنیم و ضمن گرم کردن، آب را به هم می زنیم تا دمای آن یکنواخت شود. وقتی که تعادل دمائی برقرار گردید یعنی دمای بالونها و مایع های محتوی آنها برابر دمای آب ظرف شد مشاهده می شود با وجود این که دمای همه بالونها به يك اندازه افزایش یافته است مایعها در لوله به اندازه های متفاوت بالا رفته است (شکل ۱-۱۳)



شکل ۱-۱۳ - مقایسه انبساط مایعها

ضریب انبساط مطلق يك مایع - انبساط مطلق مایعات عملاً مانند انبساط جامدات همگن و ایزوتروپ

است. بنا بر این قانونهای انبساط حجمی يك جامد در باره انبساط مطلق يك مایع نیز صادق است. ضریب انبساط مطلق متوسط يك مایع، بنا به تعریف عبارتست از اندازه انبساط واحد حجم مایع وقتی که دمای آن 1°C بالا رود.

بنابر این اگر V حجم حقیقی مایع در 0°C و V حجم حقیقی آن در $\theta^{\circ}\text{C}$ باشد، ضریب انبساط مطلق متوسط مایع برابر خواهد بود با

$$\alpha = \frac{V - V_0}{V_0 \theta} \quad (1-6)$$

این ضریب که مشخص کننده مایع مورد نظر است یکنگی به ظرف آن ندارد.

در جدول ۱-۳ ضریب انبساط مطلق متوسط چند مایع چند مایع بین صفر درجه و پنجاه درجه سانتیگراد برای نمونه داده شده است.

جدول ۱-۳ - ضریب انبساط مطلق متوسط چند مایع

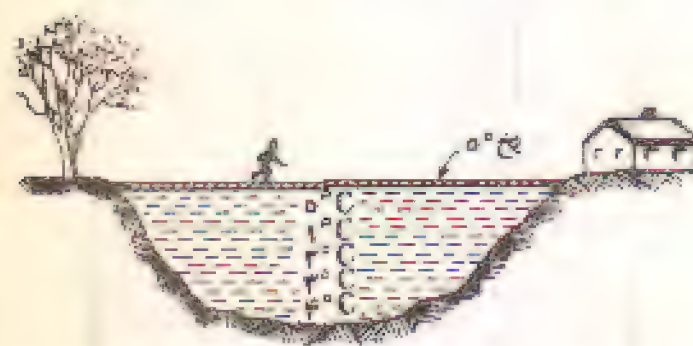
نوع مایع	ضریب انبساط مطلق
آب معمولی	$1/6 \times 10^{-2}$
الکل اتیلیک	$1/1 \times 10^{-2}$
بزن	$1/2 \times 10^{-2}$
فلوئن	$1/2 \times 10^{-2}$
گلیسرین	$5/5 \times 10^{-2}$
جیوه	$5/18 \times 10^{-2}$

از مقایسه این مقادیر با ضریبهای انبساط حجمی جامدات معلوم می شود که مایعات خیلی بیشتر از جامدات

۱- Isotrope، جسم ایزوتروپ یعنی جسمی که خواص فیزیکی آن (مثلاً خاصیت انبساط) در تمام جهات اطراف يك نقطه درون آن یکسان است.

$$\rho = \frac{13/60}{1 + 0/18 \times 10^{-2} \times 50} \approx 13/47 \text{ g/cm}^3$$

انبساط آب غیرعادی است - از 0°C تا 4°C حجم آب به جای افزایش، کاهش می یابد. از دمای 4°C به بالا آب انبساط عادی خود را باز می یابد. بنابراین وقتی که دمای آب 4°C است کمترین حجم و در نتیجه بیشترین جرم حجمی را دارد. در 0°C آب شروع به یخ بستن می کند و حجمش بیشتر می شود. پس از یخ بستن اگر دما از 0°C پایین تر رود یخ مانند جامدات دیگر منقبض می شود و حجمش کاهش می یابد. انبساط غیرعادی آب بین 0°C و 4°C برای ماهیها و موجودات دیگر که در دریاچه ها و آبگیرهای مناطق سرد زندگی می کنند دارای اهمیت بسیار است. در زمستان که این دریاچه ها و آبگیرها گرمای خود را به محیط اطراف خود داده و سرد می شوند سطح آنها یخ می بندد و لایه های آب به ترتیب دماهایی که در شکل ۱۴-۱ نمایش داده است روی هم قرار می گیرند. یعنی آب 4°C که سنگین تر است در ته دریاچه قرار می گیرد و لایه های دوی آن از پایین به بالا به ترتیب جرم حجمی آب و دماهای 3°C و 2°C و 1°C واقع می شوند و آب در تماس با یخ دارای دمای 0°C است. این پدیده



شکل ۱۴-۱ - ترتیب دماهای آب در دریاچه ای که سطح آن از یخ پوشیده است.

(از ده تا صد برابر) منبسط می شوند. اگر ضریب انبساط مطلق مایمی در دست باشد از رابطه ۱-۶ حجم مطلق مایع در دمای θ حساب می شود. کافی است حجم آن را در دمای صفر درجه بدانیم. یعنی:

$$V = V_0 (1 + a\theta) \quad (7-1)$$

تغییر جرم حجمی يك مایع با دما - در نظر بگیریم که m جرم مقدار مایمی باشد که حجم آن در صفر درجه V_0 است، جرم حجمی آن در دمای صفر درجه برابر است با:

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0}$$

اگر V حجم حقیقی این مایع در دمای θ باشد جرم حجمی آن در این دما برابر است با:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{V_0 (1 + a\theta)}$$

که در این رابطه a ضریب انبساط مطلق متوسط مایع است.

از تقسیم دو رابطه بالا برهم نتیجه می شود:

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{m}{V_0 (1 + a\theta)} \div \frac{m}{V_0} = \frac{1}{1 + a\theta}$$

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 + a\theta} \quad (8-1) \quad \text{با:}$$

یعنی جرم حجمی يك مایع در دمای θ برابر است با خارج قسمت جرم حجمی آن در دمای صفر درجه بر $1 + a\theta$.

مثال - جرم حجمی جیوه در دمای صفر درجه سلیوس برابر $13/60$ گرم بر سانتیمتر مکعب است جرم حجمی آن را در دمای 50°C حساب کنید. - داریم:

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 + a\theta}$$

به ازای $\rho_0 = 13/6 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ و $a = 0/18 \times 10^{-2} / ^\circ\text{C}$ و $\theta = 50^\circ\text{C}$ خواهیم داشت.

به موجوداتی که در این آبها زندگی می کنند امکان می دهد که در زمستان زیر یخ زنده بمانند .

۳- تغییر حجم و فشار گازها در اثر گرما -
گفتیم در گازها فاصله مولکولها از یکدیگر نسبت به حالت جامد یا مایع خیلی زیاد و نیروهای پیوستگی بین مولکولها ناچیز است . بنابراین هر مولکول آزادانه به خط راست حرکت می کند تا این که به مولکولهای دیگر یا به جدار مخزن خود برخورد کند و در اثر این برخورد تغییر مسیر دهد .

سرعت حرکت مولکولها در گازها زیاد است . مثلاً سرعت متوسط حرکت انتقالی مولکولهای گاز نیتروژن موجود در هوا در دمای معمولی به حدود ۵۰۰ متر بر ثانیه می رسد . به علت همین سرعت زیاد مولکولها و همچنین به علت ناچیز بودن نیروهای پیوستگی بین آنهاست که گازها شکل و حجم معینی ندارند . وقتی که گازی درون ظرفی محبوس می شود بر جدار ظرف فشار وارد می آورد . مثلاً وقتی که يك بادکنك یا يك توپ بازی را باد می کنید هوای درون آن در تمام جهات تقریباً به طور یکنواخت بر جدار فشار وارد می سازد .

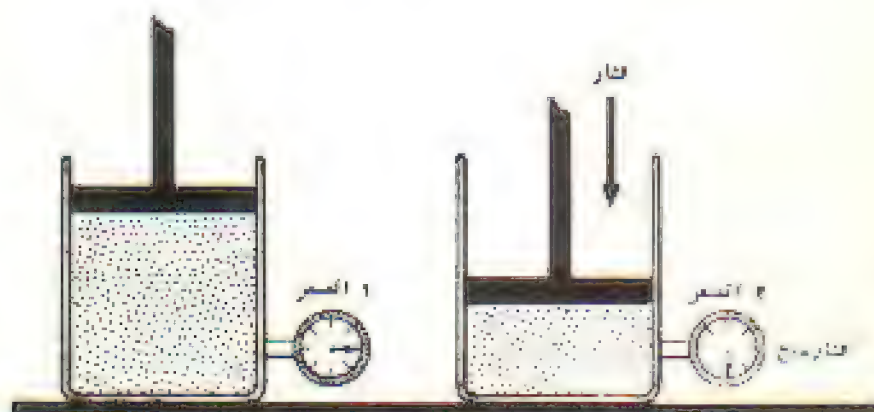
در این نوع فشار ، وزن گاز که خیلی کم است مؤثر نیست . ولی می توان فشار را بر اساس « آزاد بودن حرکت مولکولهای گاز » چنین توضیح داد :

هر مولکول که به جدار ظرف برخورد می کند بر آن ضربه وارد می سازد مانند ضربهای که يك توپ بازی هنگام برخورد به دیوار بر آن وارد می آورد . چون تعداد مولکولهای موجود در يك گاز حتی در يك حجم خیلی كوچك بسیار زیاد است در هر لحظه میلیاردها مولکول بر جدار ظرف را بمباران می کنند . مجموع این ضربهای متوالی بر جدار ظرف به صورت فشار ثابتی ظاهر می شود که به طور یکنواخت بر سطح جدار وارد می گردد .

وقتی که گاز درون يك ظرف ، که حجمش ثابت است ، گرم می شود فشار آن افزایش می یابد .

این تئوریه را می توان چنین توجیه کرد که انرژی گرمایی سرعت حرکت مولکولهای گاز را بیشتر می کند . بنابراین مولکولها با ضربه شدیدتری به جدار ظرف برخورد می کنند و در نتیجه فشار بیشتری بر جدار ظرف وارد می شود . هر چه دمای گاز بالاتر رود فشار آن نیز بیشتر می شود . بنابراین وضعیت يك گاز در صورتی مشخص می شود که فشار و حجم و دمای آن معین باشد .

الف - رابطه بین حجم و فشار گازها در دمای ثابت - قانون بویل-ماربوت - «استوانه مسدودی را در نظر بگیرید (شکل ۱-۱۵) که دهانه بالایی آن به وسیله پیستون بدون منفذی بسته شده است و پیستون



شکل ۱-۱۵- در دمای ثابت حجم گاز متناسب با عکس فشار است .

می‌تواند به آسانی در استوانه حرکت کند و درون استوانه گازی مانند هوا وجود دارد. چنانچه دما ثابت باشد حجم گاز درون استوانه بستگی به فشاری دارد که توسط پیستون بر آن وارد می‌شود. اگر پیستون به طرف پایین رانده شود فشار بیشتری بر گاز وارد می‌سازد و حجم گاز کم می‌شود. ولی گاز هم به نوبه خود در مقابل فشار پیستون ایستادگی می‌کند و عمل تراکم وقتی متوقف می‌شود که فشار گاز برابر فشار پیستون باشد. قانونی که رابطه بین حجم و فشار مقدار محبوس گاز را در دمای ثابت نشان می‌دهد نخستین بار توسط بویل^۱ (۱۶۹۱-۱۶۲۷م) در انگلستان و ماریوت^۲ (۱۶۸۴-۱۶۲۵م) در فرانسه جداگانه به دست آمده است. طبق این قانون که آن را قانون بویل-ماریوت می‌نامیم حجم یک گاز که دمای آن همواره ثابت باشد به نسبت عکس فشاری که بر آن وارد می‌شود تغییر می‌کند. یعنی اگر فشار وارد بر سطح پیستون (شکل ۱-۱۵) دو یا سه یا چهار برابر شود حجم گاز درون استوانه نصف یا ثلث یا ربع می‌شود. از طرف دیگر اگر فشار کم شود و مثلاً به نصف یا ثلث مقدار اولیه خود برسد، گاز پیستون را به طرف بالا می‌راند به طوری که حجمش به دو برابر یا سه برابر مقدار اولیه برسد. بنابراین:

حجم یک گاز در دمای ثابت متناسب یا عکس فشار آن است.

از نظر ریاضی قانون بویل-ماریوت دمی‌توان به

صورت زیر نمایش داد:

$$V \propto \frac{1}{P} \quad \text{یا} \quad V \propto \frac{1}{\text{فشار گاز}} \propto \text{حجم گاز}$$

V نمایش حجم گاز و P نمایش فشار آن و \propto علامت تناسب است. نتیجه آن که:

$$V = \frac{1}{P} \times \text{مقدار ثابت}$$

یا (۱-۹) $PV = \text{مقدار ثابت}$

مثلاً اگر در فشار P_1 حجم گاز V_1 باشد و در فشار P_2 حجم آن V_2 شود، داریم:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 = \text{مقدار ثابت}$$

به رابطه بین دما و حجم گازها در فشار ثابت.

قانون شارل-گیلوساک^۳ - گازها وقتی که فشارشان ثابت بماند در اثر گرما حجمشان افزایش می‌یابد.

پرسش ۱-۱۵ - در شکل ۱-۱۵ در صورتی که پیستون آزادانه بتواند حرکت کند هر گاه گاز درون استوانه گرم شود وضع پیستون چه خواهد شد؟

قانون تغییرات حجم گازها یا دما در فشار ثابت توسط شارل^۴ (۱۸۲۳-۱۷۴۶م) و گیلوساک^۳ (۱۸۵۵-۱۷۷۸م) فیزیک دانان فرانسوی جداگانه کشف شده است. این قانون به نام قانون شارل-گیلوساک به صورت زیر بیان می‌شود:

هرگاه فشار گازی ثابت بماند، در صورتی که دمای آن به اندازه 1°C افزایش یابد تقریباً به اندازه $\frac{1}{273}$ حجمی که گاز در دمای 0°C دارد افزایش حجم می‌یابد.

به عبارت دیگر ضریب انبساط حجمی گازها در فشار ثابت تقریباً برابر $\frac{1}{273}$ بر 1°C است.

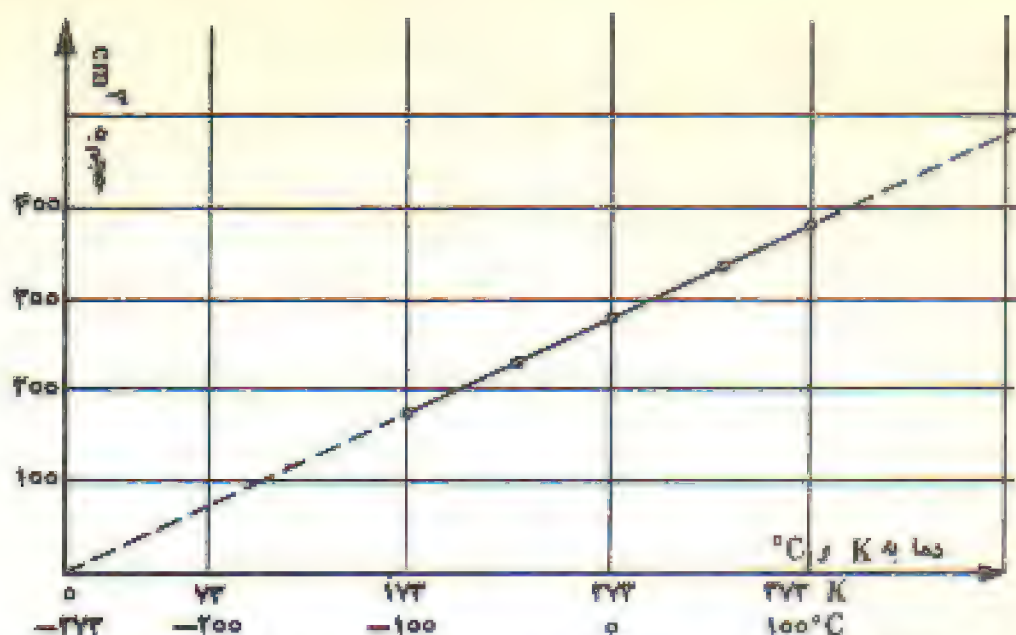
جدول ۱-۴ و نمودار شکل ۱-۱۶ اندازه‌های تقریبی حجم یک گاز را در فشار ثابت برای دمای

۱- Robert Boyle

۲- Mariotte

۳- Charles

۴- Gay - Lussac



شکل ۱-۱۶- در فشار ثابت، حجم گاز متناسب با دمای مطلق آن است.

مختلفی که بر حسب درجه سلسیوس و درجه کلوین انتخاب شده‌اند نشان می‌دهند و برای آسانی مقایسه، حجم نمونه در 0°C برابر ۲۷۳ سانتیمتر مکعب انتخاب شده است.

جدول ۱-۲

دما به $^{\circ}\text{C}$	دما به K	حجم گاز به cm^3
-۱۰۰	۱۷۳	۱۷۳
-۵۰	۲۲۳	۲۲۳
۰	۲۷۳	۲۷۳
۵۰	۳۲۳	۳۲۳
۱۰۰	۳۷۳	۳۷۳

نمودار شکل ۱-۱۶ که به شکل خط راست است معرف قانون شارل- گیلوساک می‌باشد و نشان می‌دهد که در فشار ثابت، حجم یک گاز متناسب با دمای مطلق آن است، یعنی:

دمای مطلق گاز \propto حجم گاز

$$V \propto T \quad \text{یا}$$

$$V = T \times \text{مقدار ثابت}$$

نتیجه آن که: (۱-۱۰) مقدار ثابت $\frac{V}{T}$

مثلاً اگر تحت فشار معین و ثابت، در دمای

مطلق T_1 حجم گازی V_1 باشد و در دمای مطلق T_2

حجم آن V_2 شود خواهیم داشت:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \text{مقدار ثابت}$$

مثال - اگر مقداری گاز نیتروژن که در 27°C

حجمش ۲۰۰ سانتیمتر مکعب است تحت فشار ثابت

تا 127°C گرم شود چه اندازه افزایش حجم خواهد

یافت؟

$$V_1 = 200 \text{ cm}^3 \quad \text{داریم:}$$

$$V_2 = x \text{ cm}^3 \quad \text{و}$$

$$T_1 = (273 + 27)^{\circ}\text{C} = 300 \text{ K}$$

$$T_2 = (273 + 127)^{\circ}\text{C} = 400 \text{ K} \quad \text{و}$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad \text{چون:}$$

$$\frac{200}{300} = \frac{x}{400} \quad \text{پس:}$$

$$x = \frac{200 \times 400}{300} = \frac{800}{3} \approx 266 \text{ cm}^3 \quad \text{بنابراین:}$$

افزایش حجم تقریبی گاز برابر است با :

$$266 - 200 = 66 \text{ cm}^3$$

اگر نمودار شکل ۱-۱۶ از طرف چپ ادامه

یابد (قسمت نقطه چین) محور نمایش دماها را در صفر مطلق ($273^\circ\text{C} -$) قطع می کند و این بدان معنی است که از نظر تئوری در صورتی که فشار گاز ثابت بماند حجم آن در صفر مطلق صفر خواهد شد و پیش از این یاد آور شدیم که صفر مطلق پایین ترین حد دما است .
پرسش ۱-۱۶ - به نظر شما آیا عملاً هم در صفر مطلق حجم گاز صفر است ؟

ج - قانون عمومی گازها - از ترکیب دو قانون بویل - ماریوت (مقدار ثابت $PV =$) و شارل - گیلوساک (مقدار ثابت $\frac{V}{T} =$) قانون کلی تری به نام قانون عمومی گازها به دست می آید که بدین صورت است :

$$\boxed{\frac{PV}{T} = \text{مقدار ثابت}} \quad (1-11)$$

این رابطه چنان که می بینید ، بستگی بین فشار و حجم و دمای مطلق گاز را نشان می دهد . مثلاً اگر در دمای مطلق T_1 و تحت فشار P_1 حجم گازی V_1 باشد و در دمای مطلق T_2 و فشار P_2 حجم آن V_2 شود خواهیم داشت :

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \text{مقدار ثابت}$$

پرسش ۱-۱۷ - چگونه می توانید قانونهای بویل - ماریوت و شارل - گیلوساک را از رابطه (۱-۱۱) نتیجه بگیرید ؟

پرسش ۱-۱۸ - اگر هنگام تغییر دما ، حجم گازی ثابت بماند تغییرات فشار آن با دما طبق چه رابطه ای صورت می گیرد ؟

گازی که تغییرات حجم و فشارش با دمای مطلق تابع قانون عمومی گازها باشد گاز کامل نامیده می شود .

تعریف قبل برای گاز کامل از دید ماکروسکوپی است . ولی از نظر میکروسکوپی گاز کامل را چگونه می توان تعریف کرد ؟ از مجموع سه حالتی که ماده در شرایط عادی دارد ، حالت گازی ساده ترین آنهاست ، زیرا در این حالت نیروهای مؤثر میان مولکولها بسیار کوچکند و در بعضی شرایط ممکن است ناچیز باشند . اگر بجای آنکه نیروهای بین مولکولی را کوچک بگیریم فرض کنیم که اصلاً وجود ندارند ، همچنین ابعاد مولکولها را ناچیز انگاریم یعنی آنها را در حکم نقاط مادی بدون بعد در نظر بگیریم ، با این مفروضات مولکولهای گاز مطلقاً آزاد در نظر گرفته می شوند ، بدین معنی که مولکولها بطور یکنواخت بر خط راست حرکت می کنند ، به همانگونه که اجسام در غیاب نیرو همواره چنین حرکت می کنند .

بنابراین هر مولکول چنان رفتار می کند که مولکولهای دیگری در ظرف وجود نداشته باشند . گازی که دارای خواصی همانند خواص انبوه نقاط مادی بدون تأثیر بر یکدیگر باشد گاز کامل نامیده می شود .

گازهایی مانند هلیوم ، نیتروژن ، هوا ، اکسیژن و نیتروژن کدر دماهای خیلی پایین تبدیل به مایع می شوند تا حدود زیادی از قانون عمومی گازها پیروی می کنند . این گازها در حکم گاز کامل هستند .

مثال ۱ - مقداری گاز که در دمای 27°C و فشار ۸۰ سانتیمتر جیوه دارای حجم ۱۰۰۰ سانتیمتر مکعب بوده است متراکم شده و حجمش به ۵۰۰ سانتیمتر مکعب و فشارش به ۴۰۰ سانتیمتر جیوه رسیده است . در این شرایط دمای آن چند درجه سلسیوس شده است ؟

جواب :

مقداری گاز کامل باشد که در دمای مطلق T_1 و تحت فشار P_1 حجم V_1 را اشغال کرده است. جرم حجمی این گاز در این شرایط برابر است با

$$\rho_1 = \frac{m}{V_1}$$

اگر همین مقدار گاز در دمای مطلق دیگر T_2 و تحت فشار دیگر P_2 حجم V_2 را اشغال کند جرم حجمی آن در این شرایط جدید برابر خواهد بود با

$$\rho_2 = \frac{m}{V_2}$$

$$m = \rho_1 V_1 = \rho_2 V_2 \quad \text{در نتیجه}$$

از طرف دیگر داریم :

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

از تقسیم دو رابطه اخیر بر هم نتیجه می شود :

$$\frac{\rho_1 T_1}{P_1} = \frac{\rho_2 T_2}{P_2}$$

و از آن جا :

$$\boxed{\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{P_2}{P_1} \cdot \frac{T_1}{T_2}} \quad (12-1)$$

این رابطه نشان می دهد که جرم حجمی یک گاز کامل با فشار آن نسبت مستقیم و با دمای مطلق آن نسبت معکوس دارد .

اگر در شرایط استاندارد (یعنی در فشار $P_s = 1 \text{ atm}$ و در دمای $T_s = 273 \text{ K}$) جرم حجمی گاز را به ρ_s و در شرایط T و P (فشار و دمای T) جرم حجمی گاز را به ρ نمایش دهیم طبق رابطه ۱-۱۵ خواهیم داشت .

$$\frac{\rho}{\rho_s} = \frac{P}{P_s} \times \frac{T_s}{T}$$

$$\boxed{\rho = \rho_s \cdot \frac{P}{P_s} \cdot \frac{T_s}{T}} \quad (13-1) \quad \text{با :}$$

$$P_1 = 80 \text{ cmHg} \quad V_1 = 1000 \text{ cm}^3$$

$$T_1 = 272 + 27 = 300 \text{ K} \quad \text{و}$$

$$P_2 = 200 \text{ cmHg} \quad V_2 = 500 \text{ cm}^3$$

$$T_2 = x \text{ K}$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad \text{چون :}$$

$$\frac{80 \text{ cmHg} \times 1000 \text{ cm}^3}{300 \text{ K}} = \quad \text{بنابراین :}$$

$$\frac{200 \text{ cmHg} \times 500 \text{ cm}^3}{x}$$

$$x = T_2 = \frac{200 \times 500 \times 300}{80 \times 1000} = 375 \text{ K}$$

دما بر حسب درجه سلسیوس برابر است با :

$$\theta = 375 - 272 = 102^\circ \text{C}$$

مثال ۲- ۱۲۵ سانتیمتر مکعب گاز نیتروژن در دمای 15°C و فشار ۷۵۵ میلیمتر جیوه تهیه شده است. حجم این گاز در شرایط استاندارد (دمای 0°C و فشار ۷۶۰ mmHg) چه اندازه است ؟

جواب :

$$T_1 = 272 + 15 = 288 \text{ K}$$

$$P_1 = 755 \text{ mmHg} \quad V_1 = 125 \text{ cm}^3$$

$$T_2 = 272 + 0 = 272 \text{ K}$$

$$P_2 = 760 \text{ mmHg} \quad V_2 = x$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$\frac{755 \times 125}{288} = \frac{760 \times V_2}{272}$$

$$V_2 = \frac{755 \times 125 \times 272}{288 \times 760} = 118 \text{ cm}^3$$

در رابطه بین جرم حجمی یک گاز کامل و فشار و دمای گاز - در نظر بگیریم که m جرم

کتابخانه
دانشگاه تهران
دفتر کتابخانه مرکزی
تاریخ ثبت: ۱۳۸۵/۰۵/۰۵

آرامی گرم می‌شود آن را به هم بزنید (عمل به هم زدن را نباید با دماسنج انجام داد زیرا جدار مخزن دماسنج‌ها را خیلی نازک می‌سازند و ممکن است بشکنند). مشاهده خواهید کرد که ابتدا دمای یخ تا صفر درجه بالا می‌آید و در این دما یخ شروع به ذوب شدن می‌کند و مخلوطی از آب و یخ به وجود می‌آید ولی با آن که این مخلوط گرما دریافت می‌کند دما در صفر درجه ثابت می‌ماند تا این که تمام یخ ذوب شود. پس از ذوب تمام یخ اگر گرما دادن ادامه یابد دمای آب بالا می‌رود. از این آزمایش دو نتیجه مهم گرفته می‌شود: نخست آن که، برای ذوب واحد جرم یک جسم جامد مانند یخ مقدار مشخصی گرما لازم است. دوم آن که هنگام ذوب جسم جامدی مانند یخ که ساختمان بلوری دارد در تمام مدت ذوب دما ثابت می‌ماند.

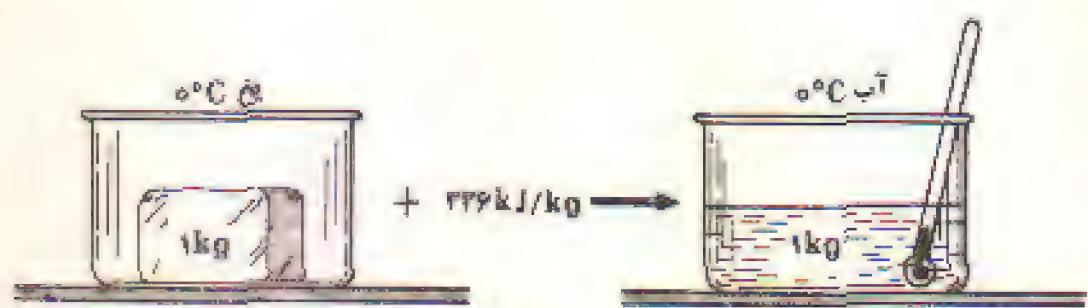
می‌دانید دمای که در آن دما جسم جامد شروع به ذوب شدن می‌کند نقطه ذوب نامیده می‌شود. نقطه ذوب بستگی به فشاری دارد که به هنگام ذوب بر جسم وارد می‌شود. نقطه ذوب اغلب اجسام جامد با افزایش فشار بالا می‌رود. اجسامی هم وجود دارند که نقطه ذوبشان در اثر فشار پایین می‌آید و یخ یکی از آنهاست. این اجسام معمولاً برخلاف جامدات دیگر، حجشان در موقع انجماد افزایش می‌یابد. گرمای نهان ذوب - گرمایی که لازم است تا

مثلاً جرم حجمی هوا که در شرایط استاندارد $\rho \approx 1/3 \text{ Kg/m}^3$ است در فشار ۱۰ اتمسفر و دمای 20°C (یعنی $293 \text{ K} = 20 + 273$) برابر خواهد بود با:

$$\rho = 1/3 \times \frac{10}{1} \times \frac{273}{293} \approx 12/1 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

۴- گرمای نهان - وقتی که حالت فیزیکی ماده تغییر می‌کند، مثلاً هنگامی که یک جسم جامد در اثر گرما به مایع یا مایع به بخار تبدیل می‌شود دمای جامد یا مایع در مدت تغییر حالت ثابت می‌ماند. یعنی انرژی گرمایی که جسم می‌گیرد به صورت افزایش دما ظاهر نمی‌شود. چون انرژی از بین نمی‌رود این پرش پیش می‌آید که در این حالت انرژی گرمایی چه می‌شود. برای پاسخ دادن به این پرسش نخست حالتی را در نظر می‌گیریم که یک جسم جامد در اثر گرما به مایع تبدیل می‌شود. این تغییر حالت را چنان که می‌دانید ذوب یا گداز گویند. آزمایش زیر را خودتان می‌توانید در خانه نیز انجام دهید:

مقداری یخ را از درون مخزن یخچال بیرون آورید و آن را خوب خرد کنید و در ظرفی بریزید و دماسنجی را میان خرده یخها فروبرید. دماسنج چند درجه زیر صفر را نشان خواهد داد. سپس ظرف یخ را روی شعله خیلی ملایمی قرار دهید و همان طور که به



شکل ۱-۱۷ - گرمای نهان ذوب یخ ۳۳۶ کیلوژول است.

واحد جرم يك جسم جامد (يك كيلو گرم جسم جامد) در نقطه ذوب خود به مایع تبدیل شود گرمای ذوب آن جسم نامیده می شود .

گرمای ذوب برای هر جسم جامد بلورین مقدار مشخصی است که ویژه آن جسم است ولی برای مواد مختلف متفاوت است . مثلاً گرمای ذوب یخ در دمای صفر درجه در حدود ۳۳۶ کیلوژول بر کیلو گرم یا ۸۰ kcal/kg است .

اگر گرمای نهان ذوب يك جسم جامد را در نقطه ثابت ذوب به L_p نمایش دهیم مقدار گرمایی که لازم است تا جرم m از این جسم را بدون تغییر دما ذوب کند برابر است با :

$$Q_p = mL_p \quad (۱-۱۲)$$

در این رابطه m بر حسب کیلو گرم و L_p بر حسب

$$\frac{\text{ژول}}{\text{کیلو گرم}} \text{ یا بر حسب } \frac{\text{کیلو کالری}}{\text{کیلو گرم}} \text{ است.}$$

پرسش ۱-۱۹ - آیا هنگامی که يك مایع به جامد تبدیل می شود دمای آن ثابت می ماند ؟ در مدت انجماد ، گرمای نهان جسم چه می شود ؟

گرمای نهان تبخیر - وقتی که کتری آبی روی شعله گاز یا يك دستگاه گرمکن دیگر گذاشته می شود دمای آب به تدریج بالایی رود تا به 100°C برسد. در این دما آب شروع به جوشیدن می کند یعنی حبابهای بخار در ته کتری تشکیل می شوند و به سطح آب می رسند و در آنجا پاره می شوند و به صورت بخار از آب خارج می شوند. دمایی که در آن دما مایع به جوش می آید نقطه جوش مایع نامیده می شود . نقطه جوش هر مایع بستگی به فشاری دارد که بر سطح مایع وارد می شود ؛ دمای جوش با افزایش فشار بالایی رود و با کاهش فشار پایین

می آید. مثلاً در فشار استاندارد اتمسفر ، دمای جوش آب 100°C است ولی در دیگهای زود پز که فشار بیشتر از اتمسفر است آب در دمای بالاتر از 100°C به جوش می آید و در نقاط مرتفع که فشار کمتر از اتمسفر است آب در دمای پایین تر از 100°C می جوشد .

همین که مایع به جوش آمد با آن که گرما جذب می کند دمایش ثابت می ماند . گرمایی که بدین ترتیب جذب مایع می شود صرف تبدیل آن به بخار می گردد. بنابراین عمل تبخیر مانند عمل ذوب گرما گیر است. آزمایش نشان می دهد برای این که يك كيلو گرم آب در نقطه جوش 100°C به بخار تبدیل شود باید انرژی گرمایی در حدود ۲۲۶ کیلوژول تقریباً معادل ۵۴۰ کیلو کالری) به آن داده شود . این مقدار گرما را گرمای نهان تبخیر آب گویند .

گرمای نهان تبخیر يك ماده اندازه گرمایی است که لازم است تا واحد جرم آن ماده را در دمای ثابت از حالت مایع به حالت بخار تبدیل کند.

چنانچه گرمای تبخیر يك مایع را به L_v نمایش دهیم مقدار گرمایی که لازم است تا مایعی به جرم m بدون تغییر دما به بخار تبدیل شود از رابطه زیر بدست می آید .

$$Q_v = mL_v \quad (۱-۱۵)$$

وقتی که بخار سرد و متراکم شود به مایع تبدیل می گردد و گرمایی را که جذب کرده است پس می دهد و این یکی از دلایلی است که سوختگی حاصل از بخار آب جوش شدیدتر از سوختگی حاصل از خود آب جوش است. باید بدانیم که تبدیل بخار به مایع را میعان می گویند.

پرسش ۱-۲۰ - چنانچه گرما لازم است تا ۱۰ گرم یخ صفر درجه را به بخار آب 100°C تبدیل کند ؟

انتقال گرما

دیدید که گرما همواره از جایی که دمایش بالاتر است به جایی که دمایش پایین تر است منتقل می شود و می دانید که انتقال گرما به سه راه صورت می گیرد: رسانایی، همرفتی و تابش.

۱- رسانایی - بسیاری از اجسام جامد، به ویژه فلزات، انرژی گرمایی را از خود عبور می دهند. روش انتقال گرما در اجسام جامد رسانایی یا هدایت گفته می شود و جامداتی که گرما را به خوبی هدایت می کنند رسانا یا هادی گرما نامیده می شوند. مثلاً اگر یک سر میله مسی را در شعله بگیریم انرژی گرمایی کم کم از آن می گذرد تا این که تمام میله گرم شود. این خاصیت یکی از ویژگیهای رساناهاست و بر اساس آن است که می توانید بیان کنید چرا مثلاً دسته یک قاشق چایخوری که سر آن در جای داغ قرار دارد به هنگام لمس داغ حس می شود.

پرسش ۱-۲۱- بنابر تئوری مولکولی انتقال گرما در یک میله فلزی چگونه توجیه می شود؟
موادی که گرما را هدایت نمی کنند ناسانها یا عایق نامیده می شوند. پشم، چوب پنبه، هوا و آب، از نارسانهای طبیعی هستند.

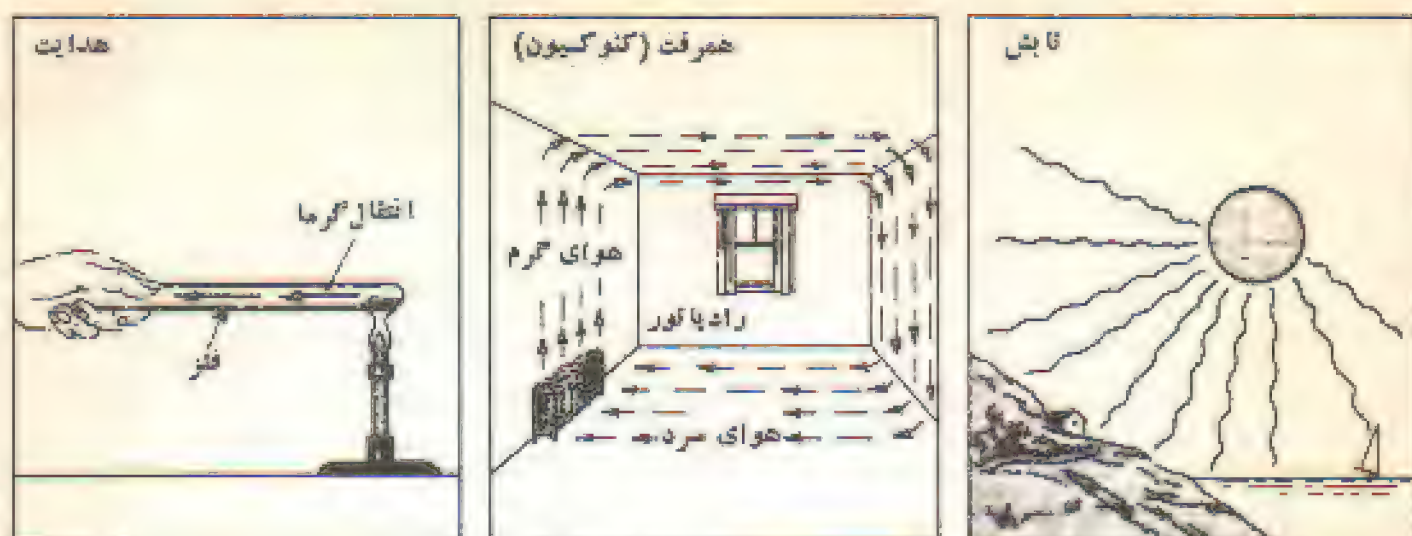
در صنعت و آزمایشگاه و زندگی هر دو دسته اجسام رسانا و نارسانا را برای کنترل انتقال گرما به کار می برند. رساناها را هنگامی به کار می برند که بخواهند گرما را از جایی به جای دیگر منتقل کنند. مثلاً دیگهای آشپزخانه را از رساناهای خوبی مانند آلومینیم یا مس می سازند تا گرما را از شعله به آنچه درون آنهاست به خوبی هدایت کنند. نارساناها

را وقتی به کار می برند که بخواهند از انتقال گرما جلوگیری کنند.

پرسش ۱-۲۲- چه مواردی را می شناسید که از نارساناها برای جلوگیری از انتقال گرما استفاده می شود؟

۲- همرفت یا کنوکسیون - در مایعات و گازها که اغلب رساناهای خوبی نیستند انتقال گرما به وسیله جریانی از مایع یا گاز صورت می گیرد. این جریان در اثر اختلاف دما بین دو نقطه درون آنها برقرار می شود و تا وقتی که اختلاف دما وجود دارد ادامه می یابد و هر قسمت از مایع یا گاز در ضمن این جریان به نوبه خود با گرمکن مستقیماً تماس پیدا می کند و گرم می شود و گرما را با خود به جایی که دمایش کمتر است منتقل می کند. روش انتقال گرما را به وسیله جریانی از مایع یا گاز همرفت یا کنوکسیون نامند. موقعی که مایعی یا گازی از پایین گرم می شود جریان همرفتی خود به خود برقرار می گردد. مثلاً در یک اتاق هنگامی که بخاری روشن است یا رادیاتور دستگاه شوفاژ گرم است در هوای درون اتاق، جریان همرفتی به وجود می آید. بدین سان که هوای مجاور بخاری یا رادیاتور گرم می شود و انبساط می یابد و سبکتر از هوای محیط اطراف خود می شود و در نتیجه هوای سرد جای آن را می گیرد و آن را به طرف بالای اتاق می راند و این روش ادامه می یابد و جریان همرفتی را به وجود می آورد. به طوری که هوای اتاق، قسمت به قسمت، مجاور منبع گرم می رسد و به نوبه خود گرم می شود و جای خود را به هوای سرد می دهد.

۳- تابش - انرژی گرمایی خود را به خود می دهد.



شکل ۱۸-۱- نمایش ساده‌ای از روشهای انتقال گرما .

انتشار نور در خلأ حدود ۳۰۰,۰۰۰ کیلومتر در ثانیه است و بر روی آینه یا هر جسم صیقلی دیگر نیز منعکس می‌شوند.

همه اجسام ، چه گرم و چه سرد ، به طور دائم گرما بایکدیگر به روش تابش مبادله می‌کنند. بدیهی است اگر دمای جسمی از دمای اجسام مجاور خود بیشتر باشد گرما از آن جسم به اجسام دیگر تابش می‌کند و برعکس اگر دمای جسمی از دمای اجسام مجاور خود کمتر باشد گرما دریافت می‌نماید . شکل ۱۸-۱ طرح ساده‌ای از انتقال گرما را به سه روش هدایت و همرفتی و تابش مجسم می‌کند .

خالی که بین خورشید و زمین است می‌گذرد و به زمین می‌رسد و عاملی که گرمای خورشید را بر اثر همرفتی یا رسانایی انتقال دهد بین خورشید و زمین وجود ندارد. بنابراین روش رسیدن گرمای خورشید به زمین مانند تابیدن نور خورشید به زمین است و تابش نامیده می‌شود . چنان که می‌دانید در روش تابش ، انتقال انرژی گرمایی به صورت امواج یا اشعه زیر قرمز است . انتقال انرژی را به صورت امواج در بخش بعد خواهیم دید . در اینجا کافی است یاد آور شویم که اشعه زیر قرمز برخلاف اشعه نورانی دیده نمی‌شوند ولی مانند نور انتشار می‌یابند و سرعت انتشار آنها نیز مانند سرعت

خودتان آزمایش کنید

۱) تحقیق کنید که سرعت سرد شدن مقدار معینی آب گرم بستگی به اختلاف بین دمای آب و دمای محیط (مثلاً هوای اتاق) دارد :

فنجانی را از آب جوش پر کنید و دماسنجی را درون آن بگذارید و به آرامی با میل شیشه‌ای آب را بهم بزنید و هر سه دقیقه که می‌گذرد دمای آب را روی دماسنج بخوانید و یادداشت کنید تا این که دمای آب به

دمای محیط نزدیک شود (مثلاً 25°C) . سپس نمودار تغییرات دمای آب را با زمان رسم کنید . (زمان را روی محور افقی و دما را روی محور عمود بر آن نمایش دهید .) شب این نمودار در هر نقطه نمایش سرعت سرد شدن آب است . وقتی که دما کاهش می یابد سرعت سرد شدن چگونه تغییر می کند ؟

(۲) بازده يك آب گرم كن الكتريكي را تعيين كنيد :

اندازه معینی ، مثلاً يك لیتر ، آب سرد را در يك آب گرم كن الكتريكي كه توان مصرفی آن معلوم باشد بریزید و دمای آب را اندازه بگیرید . آب گرم كن را به برق وصل كنید و دمای آب را هر دو دقیقه يك بار یادداشت كنید تا این كه دمای آن به 90°C برسد . مقدار گرمایی را كه آب می گیرد بر حسب ذول حساب كنید و بر زمانی كه گرم شدن آن طول كشيده است تقسیم كنید . بدین ترتیب سرعت گرم شدن آب بر حسب وات به دست خواهد آمد . عددی را كه به دست می آورید با توان الكتريكي مصرفی آب گرم كن كه روی آن نوشته شده است مقایسه كنید . بدیهی است بازده آب گرم كن بر حسب مقدار درصد برابر است با :

$$\text{بازده آب گرم كن} = \frac{\text{توان گرم شدن آب}}{\text{توان مصرفی آب گرم كن}} \times 100$$

نمودار تغییرات دما را با زمان رسم كنید و به كمك این نمودار تحقیق كنید آیا گرم شدن آب با سرعت ثابت انجام می گیرد .

(۳) در صورتی كه در آزمایشگاه وسیله ای برای تحقیق قانون بویل - ماریوت در اختیار دارید این قانون را تحقیق كنید .

به این پرسشها پاسخ دهید

- (۱) چرا نقاط ثابت دماسنجی برای مدرج كردن دماسنج لازم است ؟
- نقاط ثابت دماسنجی را كه معمولاً به كار می روند تعریف كنید . چرا برای تعیین نقاط ثابت دماسنجی فشار استاندارد اتمسفر شرط است ؟
- (۲) سه دلیل قانع كننده بیاورید كه آب برای دماسنجی مایع مناسبی نیست .
- (۳) آیا می توان يك دماسنج پزشکی را در آب جوش ، دماسنجی كرد ؟ با بیان دلیل توضیح دهید .
- (۴) دمای جوش هلیوم مایع 4°C - است . این دما چند درجه كلوین است ؟
- (۵) تعریف ضریب انبساط خطی جامد چیست . چه روشی را برای اندازه گیری ضریب انبساط يك ماده فلزی پیشنهاد می كنید ؟
- (۶) آزمایشی را به اختصار شرح دهید كه به كمك آن بتوان انبساط خطی يك جامد را مشاهده كرد .
- (۷) وسط يك صفحه مسی به شكل مربع مستطیل سوراخ دایره شكلی ایجاد شده است . اگر صفحه فلزی را

گرم کنیم قطر سوراخ دایره شکل چه می شود ؟

الف- بزرگتر می شود .

ب- کوچکتر می شود .

ج- تغییر نمی کند.

کدام يك از جوابهای بالا درست است ؟ آیا می توانید علت درستی جواب را توضیح دهید؟

۸) قطر يك گلوله مسی در دمای معمولی برابر قطر يك حفره دایره ای شکل است که در وسط يك ورقه مسی ایجاد شده است به طوری که گلوله از حفره می گذرد . اگر گلوله را گرما دهیم از حفره نمی گذرد ولی اگر ورقه و گلوله را با هم گرما دهیم گلوله باز از حفره می گذرد. علت را توضیح دهید.

۹) هنگام ریل گذاری راه آهن ، در سابق بین قطعات ریل که به دنبال هم قرار می گرفتند کمی فاصله می گذاشتند ولی امروزه طبق شکل (۱-۱۹) در فاصله های مناسب، دوسر ریل ها را در محل اتصال آزاد می گذارند. علت را توضیح دهید.

۱۰) وقتی که يك لوله آلومینیومی گرم شود کدام يك از مشخصات آن که در زیر نام برده شده است افزایش یا کاهش می یابد یا بدون تغییر باقی می ماند ؟

قطر داخلی ، حجم ، جرم ، جرم حجمی .

۱۱) وقتی که می گوئیم ضریب انبساط خطی آهن $12/5 \times 10^{-6}$ است معنی آن چیست؟

۱۲) با شکل نشان دهید که چگونه دوفلز با ضریب انبساط مختلف را باید به هم متصل کرد تا بتوان آن



شکل ۱-۱۹ - دوسر ریل ها در محل اتصال آزاد است.

را به صورت ترموستا به کار برد .

(۱۳) نموداری رسم کنید که تغییرات حجم مقدار معینی آب را وقتی که دمای آن از نقطه جوش تا نقطه انجماد تغییر می کند به طور تقریب نشان دهد .

(۱۴) جرم حجمی آب وقتی که دمای آن مثلا از 15°C تا 5°C تغییر کند چگونه تغییر می نماید ؟

(۱۵) توضیح دهید چگونه دماسنج را بر حسب درجه بندی سلیوس و فارنهایت مدرج می کنند .

(۱۶) اگر در يك دماسنج، درجه θ_{C} از درجه بندی سلیوس منطبق بر درجه θ_{F} از درجه بندی فارنهایت باشد با توجه به این که ۱۰۰ درجه سلیوس معادل ۱۸۰ درجه فارنهایت است چه رابطه ای بین θ_{C} و θ_{F} برقرار است؟

(۱۷) فرض کنید در دماسنج به جای جیوه آب بود . توضیح دهید در حالات زیر سطح آب در لوله دماسنج چگونه تغییر می کرد :

الف- وقتی که دما از 5°C به 4°C می رسد .

ب- وقتی که دما از 4°C به 3°C می رسد .

ج- وقتی که دما از 2°C به 3°C می رسد .

اگر دماسنج 4°C را نشان می داد و دما تغییر می کرد چرا دماسنج نمی توانست تعیین کند که دما افزایش یا کاهش یافته است ؟

(۱۸) دو دماسنج دارای مقدار جیوه مساوی هستند ولی لوله یکی باریکتر از دیگری است . کدام يك از این دو دماسنج به تغییرات جزئی دما حساس ترند ؟ توضیح دهید .

(۱۹) ظرفیت گرمایی ویژه را تعریف کنید .

(۲۰) توضیح دهید که چگونه دریا به علت زیاد بودن ظرفیت گرمایی ویژه آب ، در متدول نگاه داشتن هوای مناطق اطراف خود مؤثر است .

(۲۱) حالتی را توضیح دهید که در آن حالت با آن که جسم جامد گرما دریافت می کند تغییر دما نمی دهد .

(۲۲) يك قطعه یخ ۱۰ — درجه سلیوس را در يك استخر پر از آب صفر درجه می اندازند، پس از برقرار شدن تعادل گرمائی:

۱- دمای آب صفر درجه باقی می ماند و جرم یخ افزایش می یابد.

۲- تمام یخ ذوب می شود و دمای آب از صفر درجه پائین تر می رود.

۳- قسمتی از یخ ذوب می شود و دمای آب صفر درجه می ماند.

۴- دمای آب از صفر درجه پائین تر می رود و جرم یخ ثابت می ماند.

در جواب درست بحث کنید.

(۲۳) جرم حجمی گازی در فشار P و دمای مطلق T برابر ρ است . اگر فشار و دمای مطلق این

گاز هريك دو برابر شود جرم حجمی آن برابر خواهد شد با:

$$\frac{\mu}{2} - 1 \quad \mu - 2 \quad 2\mu - 2 \quad 4\mu - 4$$

(۲۳) اگر هم حجم و هم دمای مطلق مقدار معینی از يك گاز كامل نصف شود فشار آن :

۱- ثابت می ماند ۲- نصف می شود ۳- ربع می شود ۴- دو برابر می شود
در جواب درست بحث کنید.

این مسئله‌ها را حل کنید

ظرفیت گرمایی ویژه اجسامی را که در پاره‌ای از این مسائل لازم است در جدول ۱-۱ بیابید.

(۱) چند ژول گرما لازم است تا دمای ۱۰۰۰ کیلو گرم آب دریا را 20°C بالا ببرد .

(۲) ۱۰۸ ژول گرما لازم است تا دمای ۹ گرم طلا را از 5°C به 100°C برساند. گرمای ویژه طلا

را به $\frac{\text{ژول}}{\text{کیلو گرم} \cdot \text{درجه C}}$ حساب کنید.

(۳) يك قطعه سرب به جرم معين با سرعت ۲۰ متر بر ثانیه به مانع سختی برخورد کرده و متوقف می شود . اگر تمام انرژی جنبشی آن به گرما تبدیل شود و گرمای حاصل صرف گرم کردن خود قطعه سرب شود دمای آن چند درجه سلسیوس بالا می رود ؟

(۴) يك قطعه آهن به جرم 0.5kg و دمای 80°C را در 1kg آب صفر درجه فرو می بریم . اگر اختلاف گرما ناچیز باشد دمای تعادل نهایی آهن و آب چند درجه سلسیوس خواهد شد ؟

(۵) طول يك لوله مسی در دمای 5°C برابر ۱۵ متر است. اگر در اثر جریان آب گرم دمای آن به 60°C برسد ، افزایش طول لوله را حساب کنید .

ضریب انبساط طولی مس $\lambda = 1.7 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ است .

(۶) دو تیغه هم طول یکی از آهن و دیگری از برنج که طول هر يك در دمای معمولی (20°C) برابر 10cm است روی هم جوش خورده اند. تیغه برنج را تا 82°C و تیغه آهن را تا 77°C گرم می کنیم اختلاف طول دو تیغه را در این حالت حساب کنید . ضریب انبساط طولی برنج $1.9 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ و ضریب انبساط طولی آهن $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ است .

(۷) طول يك میله فلزی در دمای 200°C برابر ۱۰۰ سانتیمتر است . در کدام دما طول میله برابر 99.7cm خواهد شد؟ ضریب انبساط طولی میله $2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ است.

(۸) میان يك صفحه فلزی به شکل مربع که طول هر ضلع آن در صفر درجه سلسیوس ۱۰۰ سانتیمتر است سوراخ دایره‌ای شکلی به قطر ۴۰ سانتیمتر ایجاد شده است :

الف : درجه دمایی طول هر ضلع این صفحه ۱۰۱ سانتیمتر می شود ؟

ب : در این دما قطر سوراخ چند سانتیمتر خواهد شد ؟

ضریب انبساط طولی فلز $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ $12/5 \times$ است .

(۹) قطر درونی يك حلقه برنجی $15/94\text{cm}$ است . در همین دما قطر بیرونی يك قرص دایره ای

شکل ۱۶ سانتیمتر است . دمای حلقه برنجی را حداقل چند درجه سلسیوس بالا ببریم تا قرص درون حلقه

جای گیرد ؟ ضریب انبساط طولی برنج $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ $19 \times$ است .

(۱۰) اختلاف طول دو میلۀ برنجی و آهنی در دمای 10°C برابر $1/4\text{mm}$ است . طول میلۀ آهنی

چند سانتیمتر باید باشد تا اختلاف طول آنها در دمای 100 درجه سلسیوس باز هم $1/4\text{mm}$ بشود ؟ ضریب

انبساط طولی برنج $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ $19 \times$ و ضریب انبساط خطی آهن $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ $12 \times$ است .

(۱۱) جرم حجمی نقره در دمای صفر درجه سلسیوس $10/5\text{g/cm}^3$ است . مطلوب است جرم حجمی

نقره در دمای 200 درجه سلسیوس .

ضریب انبساط طولی نقره $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ $1/8 \times$ است .

(۱۲) يك لیتر هوای 10°C تا 80°C گرم شده است و فشار آن در مدت گرم شدن ثابت مانده است .

حجم آن چه اندازه افزایش یافته است ؟

(۱۳) درون استوانه ای به حجم ثابت ۲۵ لیتر ، مقداری گاز اکسیژن در دمای 13°C موجود است و

فشارمنج فشار آن را ۱۵ اتمسفر نشان می دهد .

الف- اگر دمای گاز به 5°C برسد فشار آن به چند اتمسفر خواهد رسید .

ب- مقداری گاز درون استوانه به مصرف می رسد به طوری که در همان دمای 13°C فشار گاز

باقیمانده ۱۱ اتمسفر می شود . حجم گازی که به مصرف رسیده است در فشار يك اتمسفر و همان دما چه اندازه

است ؟

(۱۴) تا چه دمایی باید ۲ لیتر هوای 17°C را گرم کرد تا در فشار ثابت حجم آن ۳ لیتر بشود .

(۱۵) در ظرف استوانه ای شکلی زیر يك پیستون به وزن ناچیز ، يك لیتر هوا در شرایط محیط

محیوس و به حال تعادل است . پیستون می تواند بدون اصطكاك درون استوانه حرکت کند و سطح آن ۵۰

سانتیمتر مربع است . به اندازه ۷۵ کیلوگرم وزنه روی این پیستون می گذاریم ، در نتیجه پیستون به اندازه ۱

سانتیمتر پائین می آید و دوباره به حال تعادل قرار می گیرد و هوای درون استوانه دمای اولیه خود را باز

می یابد . اگر فشار هوای محیط ۱ کیلوگرم نیرو بر سانتیمتر مربع باشد تغییر مکان [را حساب کنید .

جواب: ۱۲ سانتیمتر

کالری

(۱۶) لیوانی به جرم ۲۵۰ گرم و به ظرفیت گرمائی ویژه $2/5$ گرم درجه سلسیوس) محتوی ۱۶۰ گرم آب

بوده و دمای تعادل آب و لیوان ۲۰ درجه سلسیوس است . برای سرد کردن آب ، ۱۰ گرم یخ صفر درجه

را که خوب خشك کرده ایم در آن می اندازیم . اگر در مدتی که یخ ذوب می شود لیوان و آب محتوی آن

۱/ گرمایی را که در نتیجه سرد شدن از دست می‌دهد از محیط خارج دریافت دارد دمای نهائی لیوان و آب محتوی آن را حساب کنید. گرمای ذوب یخ ۸۰ $\frac{\text{کالری}}{\text{گرم}}$ و ظرفیت گرمایی ویژه آب ۱ $\frac{\text{کالری}}{\text{گرم}}$ درجه (سلزیوس) است.

جواب: 16°C

(۱۷) ۲۵۰ گرم آب ۱۰ درجه سلزیوس را که در ظرفی ریخته شده است درون یخچال می‌گذاریم. چند ژول گرما باید توسط یخچال از این آب گرفته شود تا به یخ صفر درجه تبدیل گردد؟ گرمای انجماد یخ برابر $336 \frac{\text{کیلوژول}}{\text{کیلوگرم}}$ است.

پاسخ به پرسشهای متن .

(۱-۱) خورشید منبع اصلی ایجاد گرماست. در روی زمین نیز منابع تولید گرما مانند نفت، گازهای طبیعی، زغال سنگ، چوب و . . . وجود دارد. در گذشته دیدید که انرژی مکانیکی ضمن اصطکاک به گرما تبدیل می‌شود. سایر اقسام انرژی نیز، مانند انرژی مکانیکی به گرما تبدیل می‌شوند.

(۲-۱) در جامدات مولکولها خیلی بهم نزدیکند و در اطراف وضع تعادل پایدار خود دارای حرکت ارتعاشی هستند. در مایعات مولکولها اطراف وضع تعادل ناپایدار و زودگذر خود مرتب می‌گردند و هر مولکول می‌تواند آزادانه از میان مولکولهای دیگر بگذرد.

در گازها حرکت مولکولها از مولکولهای مایع هم آزادتر است.

(۳-۱) وقتی که گازی را متراکم می‌کنیم مقداری کار به آن می‌دهیم. این کار صرف افزایش انرژی درونی گاز می‌شود و دمای آن را بالا می‌برد. در مثال تلمبه دوچرخه مقداری گرما نیز در اثر اصطکاک پیستون با بدنه تلمبه ایجاد می‌شود.

(۴-۱) گرما صرف ذوب شدن یخ و تبدیل آن به آب می‌شود.

(۵-۱) میز چوبی گرمایی را که از دست دریافت می‌کند در همان محل تماس میز با دست نگه می‌دارد زیرا چوب نارساناست ولی میز آهنی گرمای دست را به همه نقاط میز انتقال می‌دهد زیرا آهن رساناست و به همین دلیل میز چوبی گرمتر حس می‌شود.

(۶-۱) به دو دلیل: نخست آن که اتفاق می‌افتد که دمای قسمتی از آب که مجاور منبع تولید گرماست بالاتر رود و در اثر آشفتگی که در عمل جوش پدید می‌آید در نقطه ثابت بالایی نیز آشفتگی پیدا شود. دوم آن که ناخالصی که به صورت مواد محلول در آب وجود دارد دمای جوش آب را بالا می‌برد.

(۷-۱) معمولاً همان درجه بندی بین صفر و صد را بالای ۱۰۰ و زیر صفر ادامه می‌دهند و دماهای بیشتر

از صد و کمتر از صفر را اندازه می گیرند.

$$T = 273 + 27 = 300 \text{ K} \quad (8-1)$$

(9-1) دماسنج الکلی .

(10-1) نه . زیرا اولاً آب در صفر درجه یخ می بندد . ثانیاً حجم آب بین صفر درجه و چهار درجه کاهش می یابد .

(11-1) در مدت روز دمای خشکی در اثر تابش خورشید از دمای دریا بالاتر می رود زیرا ظرفیت گرمایی ویژه خاك کمتر از آب است . علاوه بر این سطح دریا در اثر حرکت امواج دائماً بهم می خورد و لایه آب گرم سطح دریا با لایه های سرد زیر مخلوط می شود . بنابراین هوای مجاور خشکی گرم شده و انبساط می یابد و بالا می رود و هوای سرد روی دریا به طرف خشکی حرکت می کند تا جای آن را بگیرد . به عبارت دیگر باد از دریا به خشکی می وزد . در شب ، برعکس ، سطح خشکی به سرعت سرد می شود در صورتی که دمای دریا تغییر محسوسی نمی کند و هوای بالای دریا از هوای بالای خشکی گرمتر می شود و باد از خشکی به دریا می وزد .

(12-1) ضریبهای انبساط طولی سیمان و آهن تقریباً بهم برابرند و بنابراین آهن و سیمان در اثر تغییر دما به يك اندازه انبساط یا انقباض می یابند .

(13-1) تیغه مسی قوس درونی و تیغه آهنی قوس بیرونی را تشکیل می دهد زیرا تیغه مسی بیش از تیغه آهنی منقبض می شود .

(14-1) ضریب انبساط کوارتز خیلی کمتر از جیوه است و در اثر تغییر دما ، حجم آن نسبت به جیوه تغییر محسوسی نمی کند .

(15-1) پیستون بالا می رود و حجم گاز افزایش می یابد .

(16-1) نه . زیرا به فرض این که فاصله بین مولکولها صفر شود ، چون هر مولکول دارای حجم ویژه ای است حجم گاز که از تعداد زیادی مولکول تشکیل یافته است صفر نخواهد شد . علاوه بر این پیش از آن که دمای گاز به صفر مطلق برسد ، گاز نخست به مایع و سپس به جامد تبدیل می شود .

(17-1) در رابطه « مقدار ثابت » $\frac{PV}{T}$ ، در صورتی که T نیز مقدار ثابتی باشد داریم :

$$PV = \text{مقدار ثابت} \quad (\text{قانون بویل-ماریوت})$$

و در صورتی که فشار گاز مقدار ثابتی باشد داریم :

$$\frac{V}{T} = \text{مقدار ثابت} \quad (\text{قانون شارل-گیلوساک})$$

(18-1) در صورتی که حجم گازی به هنگام تغییر دما ثابت بماند رابطه « مقدار ثابت » $\frac{PV}{T}$ ، به صورت

زیر در می آید :

$$\frac{P}{T} = \text{مقدار ثابت}$$

این رابطه تغییرات فشار گاز را با دما، وقتی که حجم آن ثابت باشد نشان می‌دهد.

(۱۹-۱) بلی. مانند حالت ذوب دما ثابت می‌ماند و گرمایی که جسم به هنگام ذوب گرفته است در

مدت انجماد پس می‌دهد.

(۲۰-۱) الف- گرمایی که لازم است تا ۱۵ گرم (۰/۵۱۵ کیلوگرم) یخ صفر درجه را به آب صفر

درجه تبدیل کند:

$$Q_1 = 0.515 \times 336000 = 3360 \text{ ژول}$$

ب- گرمایی که لازم است تا ۱۵ گرم آب صفر درجه حاصل را به دمای جوش 100°C برساند:

$$Q_2 = 0.515 \times 4200 (100 - 0) = 4200 \text{ ژول}$$

ج- گرمایی که لازم است تا ۱۵ گرم آب 100° را به بخار 100° تبدیل کند:

$$Q_3 = 0.51 \times 2260000 = 22600 \text{ ژول}$$

کل گرمای لازم برابر است با:

$$Q = 3360 + 4200 + 22600 = 30160 \text{ ژول}$$

(۲۱-۱) مولکولهای قسمتی از میله که گرم می‌شوند تندتر حرکت می‌کنند و به مولکولهای مجاور

خود برخورد می‌کنند و حرکت آنها را تندتر می‌کنند و این مولکولها نیز به مولکولهای مجاور خود برخورد

کرده و حرکت آنها را تند می‌کنند. بدین ترتیب انرژی گرمایی مولکول به مولکول انتقال می‌یابد و در

سرتاسر میله پخش می‌شود.

(۲۲-۱) دسته پاره‌ای از اسبابهای که گرم می‌شوند مانند اتو، سماور، ظرفهای آشپزخانه، جدار

یخچالها و سردخانه‌ها...

ماهیت نور

دانشمندان همواره با این معما روبه‌رو بوده‌اند که «ماهیت نور» چیست. در قرن هفدهم میلادی دو نظریه کاملاً متفاوت درباره ماهیت نور رواج یافت: نیوتن معتقد بود که نور جریانی از ذرات بسیار کوچک ماده است که از چشمه نور خارج شده به خط مستقیم در فضا پخش می‌شوند. کریستیان هوی‌گنس^۱ فیزیک‌دان و اخترشناس هلندی برخلاف نیوتن معتقد بود که نور حرکت موجی در محیطی کشسان به نام «اثر»^۲ است که همه جای فضا حتی بین اتمهای ماده را پر کرده است. تناقض بین این دو نظریه دویست سال ادامه داشت. در قرن نوزدهم میلادی، نظریه موجی با قاطعیت (ولی نه به‌طور نهایی) بر نظریه ذره‌ای نیوتن غالب آمد.

نظریه موجی بودن نور که توسط ماکسول^۳ دانشمند انگلیسی به روش بهتری بیان شده است نشان می‌دهد که امواج نور از جنس امواج رادیویی است که در خلأ هم منتشر می‌شوند و تصور «اثر» باطل است. با وجود این درباره‌ای از موارد رفتار نور چنان است که به نظر می‌رسد به‌جای موج از بسته‌های بسیار کوچک و مستقل انرژی تشکیل یافته است. بنابراین نور به‌ظاهر دو رفتار متفاوت نشان می‌دهد: در بعضی از پدیده‌ها چنان رفتار می‌کند که موج به نظر می‌آید و در بعضی از موارد ذرات سریع انرژی، ولی در بسیاری از کاربردها می‌توانیم ماهیت موجی یا ذره‌ای بودن نور را نادیده بگیریم و نور را همچون پرتوهایی بشماریم که از چشمه مولد نور به خط راست منتشر می‌شوند.

در این بخش درباره پاره‌ای از خواص نور که به‌شناسایی ماهیت آن کمک می‌کنند بررسی کوتاهی خواهیم کرد.

نور صورتی از انرژی است

نور می تواند بر روی ماده کار انجام دهد.

آزمایشهای خیلی ظریف و دقیق نشان می دهند که نور فشارضعیفی وارد می سازد که می تواند ماده را به حرکت درآورد. در سلول فتوالکتریک (چشم الکتریکی) تابش نور، بر روی صفحه ای که در مقابل نور حساس است، سبب خارج شدن الکترونها از صفحه می شود. در این عمل نور کار انجام می دهد و این کار به انرژی الکتریکی تبدیل می شود. در گیاهان سبز انرژی نورانی به انرژی شیمیایی، که برای نمو گیاه لازم است، تبدیل می شود. می دانید که انرژیهای دیگر، مثلاً انرژی الکتریکی، گرمایی، شیمیایی، ... نیز به نور تبدیل می شوند. این واقعیتهای نشان می دهند که نور هم صورتی از انرژی است.

پرسش ۲-۱ - در چراغ برق و آتش، چه صورتی از انرژی برای تولید نور مصرف می شود؟

نور و دیدن

ما جسمی را هنگامی می بینیم که نور از آن جسم وارد چشممان شود. جسمی که دیده می شود یا خود تولید نور می کند در این صورت منبسط نامیده می شود. مانند خورشید، ستارگان، چراغ برق و... یا نور از چشمه نور بر آن می تابد و در این صورت غیمنبسط نامیده می شود. بخشی از این نور از روی جسم برمی گردد. به عبارت دیگر، بازتابیده می شود. اگر نور بازتابیده به چشم ما برسد جسم را خواهیم دید. بیشتر چیزهایی که همواره دوروبر

ما دیده می شوند اجسام غیر منبری هستند که به علت بازتاب نور از رویشان دیده می شوند. ماه و سیاره ها نیز اجسام غیر منبری هستند که از خورشید نور می گیرند و بخشی از آن را پخش می کنند.

پرسش ۲-۲ - چراغ برق هنگامی که روشن نیست چگونه جسمی است؟

عبور و جذب نور

نوری که از یک جسم به چشم می رسد معمولاً از هوا یا ماده دیگری که بین چشم و جسم است می گذرد. اگر ماده بین چشم و جسم چیزی مانند هوا یا شیشه باشد جزء کوچکی از نور جذب آن می شود و بقیه قسمت بیشتر نور، بی آن که انحراف زیادی داشته باشد، از آن می گذرد. با رسیدن این نور به چشم، جسم به طور وضوح دیده می شود.

می دانید اجسامی مانند هوا، شیشه، آب و سلوفان^۱ که نور به خوبی از آنها می گذرد اجسام شفاف نامیده می شوند و از پشت آنها اشیا به طور وضوح دیده می شوند. پاره ای از مواد نور را از خود می گذرانند ولی طوری مسیر پرتوها را کج می کنند که از پشت آنها اشیا دیده نمی شوند. این گونه اجسام را نیم شفاف یا مات می گویند مانند ورقه نازک کاغذ، شیشه مات و حبابهای شیری رنگ روی لامپهای برق. بعضی از اجسام به کلی مانع عبور نور می شوند مانند ورقه فلز یا دیوار اتاق و... این گونه اجسام را کدر گویند. معمولاً از نوری که بر روی جسم کدر می تابد بخشی بازتابیده می شود و بخشی هم جذب آن می گردد.

۱ - Cellophane ماده شفاف که از سلولز ساخته می شود و در صنعت کاربرد زیادی از جمله در تهیه فیلم دارد.

پرسش ۲-۳- انرژی نورانی که جذب يك جسم می شود به چه صورت ظاهر می گردد؟

پرسش ۲-۴- به نظر شما میزان درصد انرژی نورانی که در يك جسم جذب می شود به چه عواملی می تواند بستگی داشته باشد؟

سرعت نور

عبور نور خورشید از ۱۵۰ میلیون کیلومتر فضای خالی بین زمین و خورشید نشان می دهد که نور می تواند در خلا منتشر شود. سرعت نور در خلا^۱ در حدود ۳۰۰,۰۰۰ کیلومتر بر ثانیه است و نخستین بار توسط رومر^۲ اخترشناس دانمارکی به هنگام مطالعه حرکت ماههای سیاره مشتری معین شده است. رومر کشف کرد که نوری که از ماههای مشتری به زمین می رسد مسافتی در حدود ۳۰ میلیون کیلومتر، یعنی قطر مدار زمین به دور خورشید را در تقریباً ۱۰۰۰ ثانیه می پیماید. اگر مسافت ۳۰۰,۰۰۰,۰۰۰ کیلومتر را بر ۱۰۰۰ تقسیم کنیم سرعت نور در خلا^۳ ۳۰۰,۰۰۰ کیلومتر بر ثانیه می شود. (در سالهای بعد روش دقیق اندازه گیری سرعت نور را خواهید آموخت). سرعت نور در خلا^۴ بزرگترین سرعتی است که انرژی (یعنی نوعی از ماده) می تواند داشته باشد. سرعت نور در هوا جزئی کمتر از سرعت آن در خلا^۵ است ولی سرعت آن در مواد شفاف دیگر کاهش چشمگیری را نشان می دهد. مثلاً سرعت نور در آب تقریباً $\frac{2}{3}$ سرعت آن در خلا^۶

و در الماس کمتر از نصف سرعت آن در خلا^۷ است.

رنگ نور

می دانید که نور دارای رنگهای گوناگون است. نمونه های رنگی نور را می توانید با گذراندن دسته ای از پرتوهای نور خورشید یا نور چراغ از يك ماده شفاف رنگی مشاهده کنید. مثلاً وقتی که دسته ای از پرتوهای نور سفید^۸ به يك صفحه شیشه ای قرمز رنگ بتابد نوری که از شیشه خارج می شود به رنگ قرمز است. اگر همین دسته پرتو به شیشه سبز رنگ بتابد نوری که از آن خارج می شود به رنگ سبز است و اگر به شیشه آبی رنگ بتابد نور خروجی به رنگ آبی است. به طور کلی، نوری که از يك ماده شفاف رنگی خارج می شود همواره به رنگ آن ماده است.

از این مشاهدات دو نتیجه گرفته می شود: نخست آن که نور سفید مخلوطی از نورهای رنگی است.

دوم آن که يك ماده شفاف رنگی فقط نور همان رنگ خود را عبور می دهد و بقیه رنگها را جذب می کند. مثلاً وقتی که نور سفید به شیشه قرمز می تابد این شیشه تنها رنگ قرمز نور سفید را از خود می گذراند و رنگهای دیگر را جذب می کند. بنابراین می توان پیشگویی کرد که اگر نور قرمز رنگ بر يك شیشه به رنگ سبز بتابد باید جذب شود و نوری از آن خارج نگردد و آزمایش این را تأیید می کند.

۱- Roemer

۲- نور سفید به مفهومی که ما از رنگ سفید واقعی داریم نیست ولی این اصطلاح در مورد نوری که رنگی نیست به کار رفته است و ما هم ناچار آن را به کار می بریم.

قابلیت يك ماده شفاف در عبور دادن يك رنگ و جذب رنگهای دیگر عبود انتخابی نامیده می شود. این قابلیت بستگی به جنس ماده و نوع پرتوهای تابنده دارد و شما به تدریج این مطلب را بهتر خواهید آموخت.

رنگ اجسام کدر

رنگ يك جسم کدر به رنگ نوری است که از روی آن به سوی چشم باز می تابد. مثلاً وقتی که نور سفید بر روی يك تکه پارچه قرمز می تابد پارچه فقط قسمت قرمز رنگ نور سفید را باز می تاباند و رنگهای دیگر را جذب می کند.

قابلیت يك جسم کدر در باز تاباندن يك رنگ و جذب رنگهای دیگر نور بازتاب انتخابی نامیده می شود. به طور کلی رنگ اجسام کدر به علت بازتاب انتخابی است.

يك كتاب که جلد آبی دارد وقتی که با نور سفید روشن شود آبی به نظر می رسد، زیرا، قسمت آبی رنگ نور سفید را باز می تاباند و رنگهای دیگر آن را جذب می کند. كتاب جلد آبی اگر با نور آبی روشن شود همین رنگ را باز می تاباند و باز هم به رنگ آبی دیده می شود ولی اگر با رنگهای دیگر نور سفید، به جز آبی، روشن شود تقریباً تمام نوری را که بر آن می تابد جذب می کند و تیره به نظر می رسد، مثلاً وقتی که نور قرمز بر جلد آبی رنگ كتاب بتابد جذب می شود و نوری به طرف چشم باز نمی تابد، در نتیجه تیره به نظر می رسد.

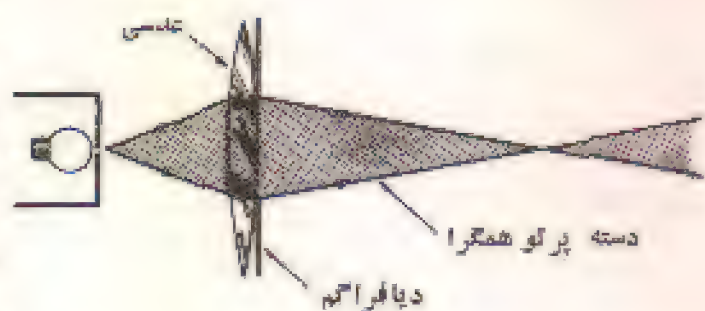
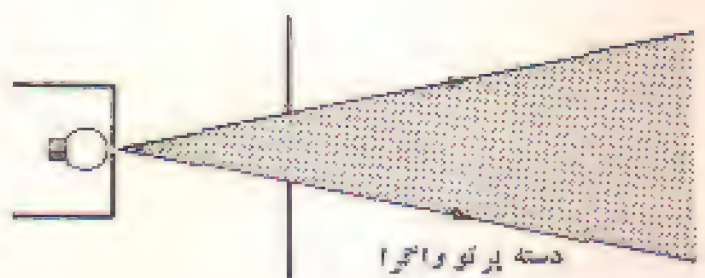
پرسش ۲-۵- اگر با عینکی که شیشه های آن سبز است به جسم قرمز رنگی نگاه کنیم به چه رنگ دیده می شود؟ علت را توضیح دهید.

اگر چشم از جسمی هیچ نور دریافت نکند آن را به رنگ سیاه می بیند و اگر جسمی همه رنگهای نور سفید را که بر آن می تابد باز تاباند به رنگ سفید دیده می شود. چنین جسمی در نور سفید به رنگ سفید، در نور سبز به رنگ سبز و در نور قرمز به رنگ قرمز دیده خواهد شد یعنی در هر حال رنگ نوری را که بر روی آن می تابد باز می تاباند و بدین سبب به آن رنگ دیده می شود. در فصل ۷ درباره رنگهای نور سفید بحث بیشتری خواهیم کرد.

به نظر می رسد که نور به خط راست می-گردد- مسیر پرتوهای نور خورشید که از میان ابرها می گذرد یا پرتوهای نور شنیدنی که از پروژکتور سینما در سالن تاریک به روی پرده می تابد، به علت وجود ذرات گرد و غبار معلق در هوا، دیده می شود. زیرا نور از روی این ذرات باز می تابد و به چشم می رسد. چون کناره های این دسته پرتوها خطرناک هستند می توان تصور کرد که يك دسته پرتو از بی نهایت خطرناک تشکیل یافته است که با هم دسته بندی شده اند. می دانید که هر يك از این خطهای تصویری نور را پرتو یا شعاع نور گویند. چون يك پرتو به تنهایی ضخامتی ندارد نمی توان آن را در آزمایشگاه تولید کرد ولی می توان به جای آن يك دسته پرتو موازی و خیلی باریک در نظر گرفت. مشاهده می شود که مسیر این دسته پرتو در هوا و آب و مواد شفاف دیگر، خط راست است. در رسم شکلهاء، مسیر هر پرتو را با خط راستی که روی آن جهت تابش نور با علامت پیکان مشخص می شود نشان می دهیم.

در حقیقت هر دسته پرتو نورانی جریانی از انرژی تابشی است که از چشمه نور خارج می شود.

بدیهی است انرژی که يك چشمه نور تابش می‌کند در تمام اطراف آن پخش می‌شود ولی می‌توان يك صفحه کدر سوراخ دار جلو چشمه نور گذاشت و از این سوراخ يك دسته پرتو در راستای دلخواه گسیل داشت و قطر سوراخ و فاصله صفحه را از چشمه نور طوری انتخاب کرد که دسته پرتو موازی یا آن که واگرا باشد با يك عدسی همگرا (مثلا با يك ذره بین) می‌توان مسیر پرتوها را تغییر داد و آنها را همگرا کرد (شکل ۱-۳). اگر قطر سوراخ به اندازه کافی كوچك باشد همه پرتوها پس از خروج از سوراخ از يكديگر دور می‌شوند. در این حالت چشمه نور را چشمه نقطه‌ای یا به عبارت ساده‌تر نقطه نودانی گویند.



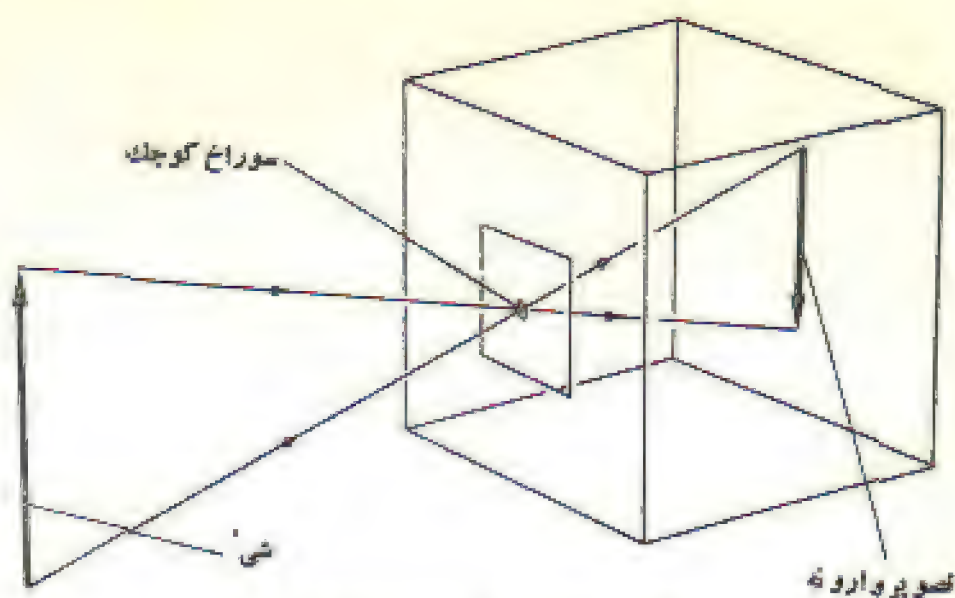
شکل ۱-۳ - نمایش دسته پرتوها

ما معمولا اشیا را در صورتی می‌بینیم که به طور مستقیم در خط دید چشمان قرار گیرند.

پرنش ۲-۶ - چرا اجسام واقع در پشت جسم کدري که مقابل چشم ما قرار دارد دیده نمی‌شوند؟ تابش نور به خط راست یکی از مهمترین ویژگیهای نور است که رفتار معمولی نور را توجیه می‌کند. برای این که به نتایج تجربی این رفتار بهتر پی ببرید در اینجا چند مثال می‌آوریم:

۱- اتاق تاریک - این اسباب، که آن را دستگاه عکاسی ساده نیز می‌توانیم بنامیم، يك جعبه ساده مکعب مستطیل شکل است که در میان وجه جلوی آن يك روزنه كوچك (به قطر حدود يك میلیمتر) و در بدنه مقابل این روزنه يك صفحه کاغذ نیم شفاف یا شیشه مات وجود دارد و درون جعبه تاریک است. هر شیء نورانی که مقابل روزنه این جعبه قرار گیرد از آن تصویری روی صفحه مات تشکیل می‌شود که نسبت به شیء وارونه است (شکل ۲-۴). برای این که تصویر روشن‌تر دیده شود بهتر این است که صفحه مات و سرنافتر، زیر پوششی از پارچه سیاه قرار گیرد.

علت تشکیل این تصویر را می‌توان چنین بیان کرد: پرتوی که از يك نقطه شیء به طرف روزنه گسیل می‌شود و از آن می‌گذرد پس از برخورد به صفحه مات، لکه خیلی كوچك نورانی روی این صفحه تشکیل می‌دهد که نمایش تصویر آن نقطه است. همه پرتوهایی که از نقطه‌های مختلف شیء به خط راست از روزنه می‌گذرند پس از برخورد به صفحه مات مجموعه‌ای از لکه‌های خیلی كوچك کم یا بیش روشن بر روی آن تشکیل می‌دهند که تصویر شیء است. تصویری که بدین گونه از تابش مستقیم پرتوهای نور



شكل ۳-۲ - تشكيل تصوير در اتاق تاريك

يك نمونه از عكسهاي را كه با اين اسباب گرفته شده است نشان مي دهد.

اتاق تاريك براي گرفتن عكس فوري مناسب نيست و عكس فوري را بايد به وسيله دستگاه عكسي عدسي دار (دستگاه عكاسي معمولي) گرفت زيرا دهانه عدسي خيلي بزرگتر از دهانه روزنه اين اسباب است و انرژي نوراني بيشتري در واحد زمان به روي فيلم مي تابد.



شكل ۳-۲ - نمونه عكسي كه به وسيله اتاق تاريك گرفته شده است

به وجود مي آيد تصوير حقيقي ناميده مي شود.

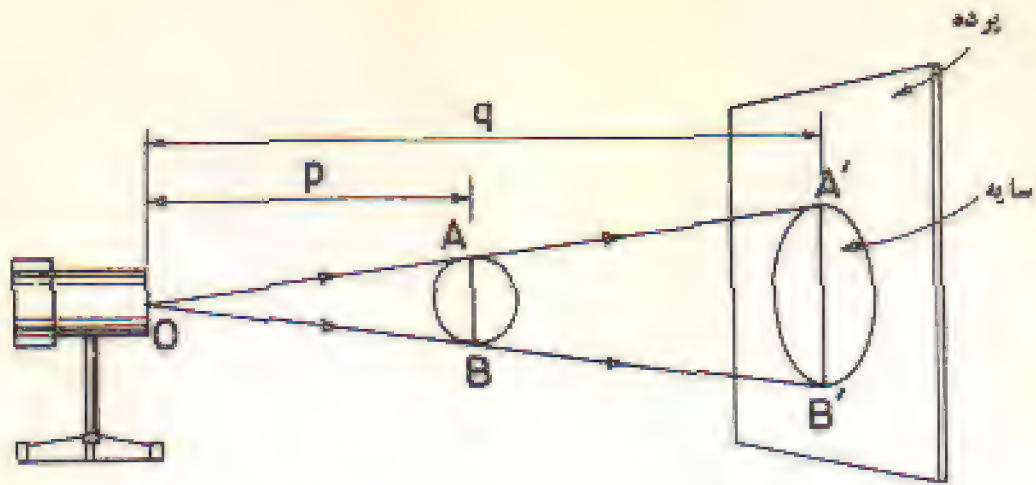
پرسش ۲-۷ - اگر قطر روزنه بزرگ (در حدود سه يا چهار ميليمتر) يا خيلي كوچك (در حدود يك دهم ميليمتر) باشد تصوير مبهمي بر روي صفحه تشكيل مي شود. آيا مي توانيد علت را توضيح دهيد؟
چنانچه از محل روزنه خطي عمود بر شئ و تصوير رسم كنيم از تشابه دو مثلث (كه رأس مشترك آنها روي روزنه و قاعده آنها به ترتيب طول تصوير و شئ است) نتيجه گرفته مي شود:

$$(۱-۲) \quad \frac{\text{فاصله تصوير از روزنه}}{\text{فاصله شئ از روزنه}} = \frac{\text{طول تصوير}}{\text{طول شئ}}$$

اين نسبت را بزرگنمايي اسباب گويند. هرچه شئ به روزنه نزديكتر شود تصوير آن بزرگتر مي گردد.

پرسش ۲-۸ - با توجه به رابطه ۱-۲ بگويد چرا چنين است؟

اگر به جاي صفحه مات يك فيلم يا يك شيشه حساس عكاسي قرار داده شود مي توان با اين اسباب ساده در مدت مناسب از مناظر عكس گرفت. شكل ۲-۳



شکل ۲-۴ تشکیل سایه هنگامی که چشمه نور يك نقطه نورانی است.

بین نسبت $\frac{A'B'}{AB}$ و p و q برقرار است؟

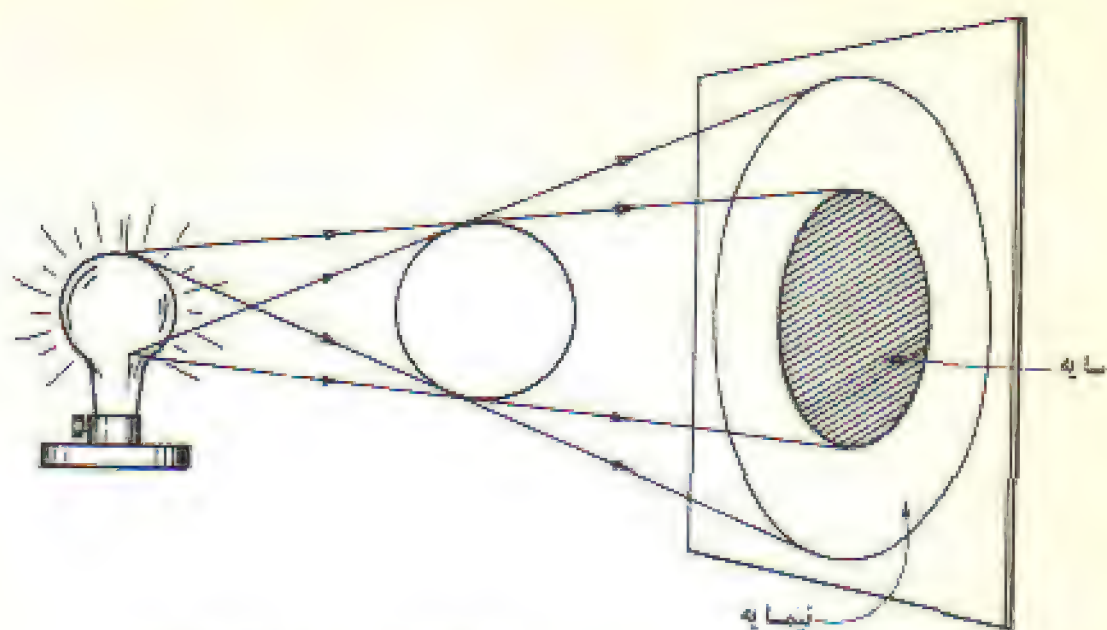
ب - تشکیل سایه هنگامی که چشمه نور بزرگ است - وقتی که چشمه نور بزرگ باشد (مانند چراغ برق) سایه معمولاً از يك قسمت مرکزی تاریک به نام سایه کامل و يك قسمت محیطی به نام نیمسایه تشکیل می شود. نیمسایه به تدریج روشن می شود و با روشنائی قسمت روشن اطراف خود در می آمیزد تا به کلی ناپدید شود. اگر چشمه نور و جسم هر دو کروی شکل باشند مرز سایه را می توان با رسم خطهای مستقیمی (که مسیر پرتوهای نور هستند) از نقاط بالایی و پایینی چشمه به بالا و پایین جسم مشخص کرد (شکل ۲-۵).

قسمت سایه کامل محدود به این دو پرتو بوده و کاملاً تاریک است زیرا پرتوهایی که از نقاط مختلف چشمه نور به خط مستقیم به طرف آن گسیل می شوند به جسم کدر برخورد می کنند و این جسم مانع رسیدن آنها به سطح سایه می گردد. قسمت نیمسایه که باقی مانده سطح سایه دار را اشغال می کند نیمه تاریک است. زیرا پرتوهای نور فقط از قسمتی از چشمه نور به آن می رسند نه از همه چشمه.

۲- تشکیل سایه - هرگاه يك جسم کدر در مسیر پرتوهایی که از يك چشمه نور پخش می شوند قرار گیرد فضای پشت جسم که تاریک می ماند سایه نامیده می شود. کناره های واضح سایه ها نشان می دهند که پرتوهای نور به خط راست می گذرند. برای بررسی این موضوع دو حالت را در نظر می گیریم: حالتی که چشمه نور خیلی کوچک و در حکم يك نقطه نورانی است و حالتی که چشمه نور بزرگ است.

الف- تشکیل سایه هنگامی که چشمه نور خیلی کوچک (نقطه نورانی) است - اگر در مسیر نوری که از يك نقطه نورانی پخش می شود جسم کدري که خیلی کوچک نباشد قرار گیرد سایه ای که از آن تشکیل می شود محدود به پرتوهایی خواهد بود که از کناره های جسم می گذرند (شکل ۲-۴). این سایه روی دیوار یا روی يك پرده به صورت سطحی کاملاً تاریک دیده می شود که با مرز واضحی از قسمت روشن دیوار یا پرده جدا می شود.

پرسش ۲-۹ - اگر AB و $A'B'$ (طبق شکل ۲-۴) به ترتیب قطرهای جسم و سایه و p و q به ترتیب فاصله های آنها از چشمه نور باشد چه رابطه ای

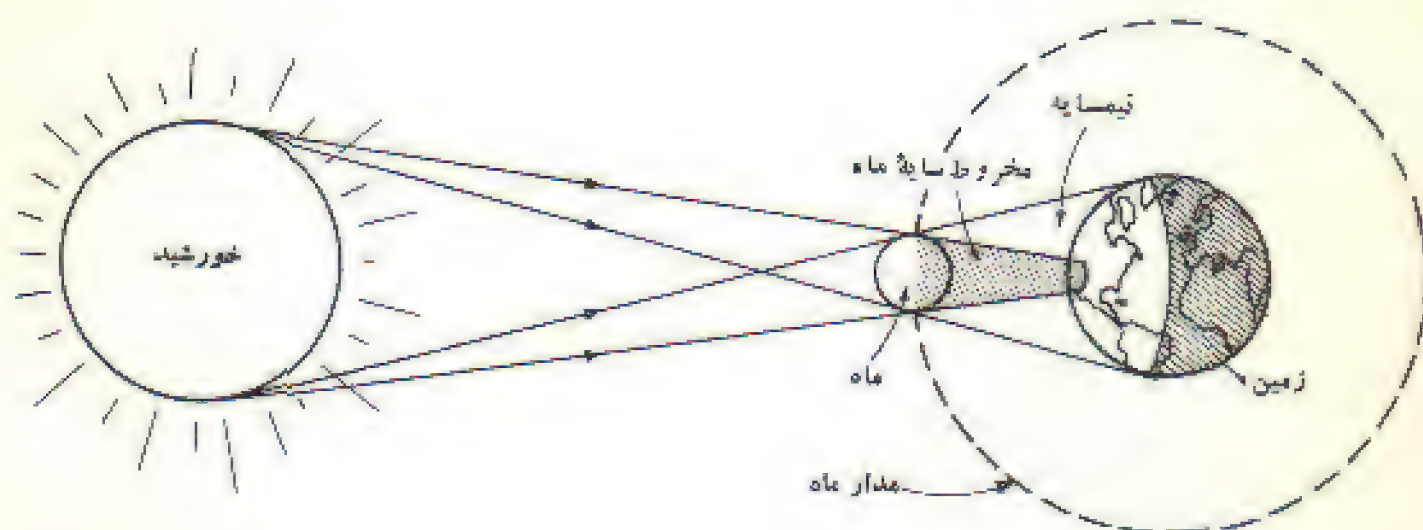


شکل ۲-۵ تشکیل سایه و نیمسایه هنگامی که چمنه نور بزرگ است.

گرفتن خورشید و ماه

گرفتن خورشید و ماه به علت افتادن سایه ماه بر روی زمین یا سایه زمین بر روی ماه است و هنگامی پیش می آید که ماه و خورشید و زمین بر یک راستا واقع شوند. گرفتن خورشید (کسوف)، وقتی اتفاق می افتد که ماه بین زمین و خورشید واقع شود (شکل ۲-۶). در این حالت سایه ماه روی بخشی

از سطح کره زمین می افتد که قسمتی از آن سایه کامل و قسمت دیگر آن نیمسایه است. مردمی که در قسمت سایه کامل ماه هستند تمام قرص خورشید را گرفته می بینند و برای آنان گرفتگی خورشید کامل است. ولی مردمی که در قسمت نیمسایه ماه هستند فقط بخشی از قرص خورشید را گرفته می بینند یعنی برای آنان گرفتگی خورشید جزئی است.



شکل ۲-۶ نمایش ساده ای از گرفتن خورشید.

شکل ۲-۷ چند مرحله از گرفتن خورشید را تا مرحله کسوف کامل نشان می‌دهد که به سال ۱۹۷۵ میلادی اتفاق افتاده و در ایالت ویرجینیا در آمریکا از آن عکسبرداری شده است.

زمین میان ماه و خورشید واقع شود. در این حالت زمین مانع رسیدن نور خورشید به ماه می‌گردد و سایه زمین سطح ماه را می‌پوشاند و آن را مدتی در تاریکی فرو می‌برد.

گرفتن ماه (خسوف) وقتی اتفاق می‌افتد که



(۲)



(۱)



(۴)



(۳)

شکل ۲-۷ چند مرحله از جریان گرفتن خورشید تا مرحله کسوف کامل که در سال ۱۹۷۵ میلادی اتفاق افتاده است.

خودتان آزمایش کنید

۱) با اندازه‌گیری طول سایه یک جسم (مثلاً یک درخت یا یک تیر چراغ یا یک ساختمان) ارتفاع آن را معین کنید:

چوبی یا میله‌ای به طول مثلاً یک متر را به‌طور قائم روی زمین عمود در آفتاب نصب کنید و طول سایه آن را اندازه بگیرید. سپس به سرعت طول سایه جسم را نیز اندازه بگیرید و ارتفاع جسم را از این رابطه حساب کنید:

$$\frac{\text{طول چوب}}{\text{طول سایه چوب}} = \frac{\text{ارتفاع جسم}}{\text{طول سایه جسم}}$$

آزمایش را چند مرتبه تکرار کنید و میانگین نتایج را به دست آورید. بهتر این است که این آزمایش بعد از ظهر هنگامی که طول سایه به اندازه کافی بلند است انجام شود.

(۲) بایک جعبه مقوایی (مثلاً جعبه کفش) اتاق تاریک بسازید و طرزتشکیل تصویر يك جسم روشن (مانند شمع یا پنجره اتاق) را در آن مشاهده کنید. بررسی کنید که قطر سوراخ در چه حدود باشد تا تصویر واضحی به دست آید. به جای يك سوراخ دوبا چند سوراخ در آن ایجاد کنید و مشاهدات خود را بنویسید. مسیر پرتوهای نور را که بیان کننده نتایج آزمایش شما هستند روی صفحه کاغذ رسم کنید.

به این پرسشها پاسخ دهید

- (۱) دو مثال بیاورید که نشان دهند نور می تواند به انرژیهای دیگر تبدیل شود.
- (۲) توضیح دهید چگونه ما اشیایی مانند میز و صندلی و... را که خود نور نمی دهند می بینیم.
- (۳) غواصان که روز آفتابی در دریا فرو می روند اظهار می دارند که هر چه پایین تر می روند آب تاریکتر می شود. پس نور خورشید که به آب می تابد چه می شود؟
- (۴) چگونه باید بدانیم که نور از خلاء می گذرد؟
- (۵) دو صفحه شیشه ای قرمز رنگ و دو صفحه شیشه ای سبز رنگ و يك دسته پرتو نور سفید که از چشمه نور بر روی دیوار یا پرده ای می تابد در اختیار دارید.
- الف- چگونه می توانید نشان دهید که نور سفید محتوی نورهای قرمز و سبز است؟
- ب- چگونه می توانید خاصیت عبور انتخابی شیشه قرمز را نشان دهید؟
- (۶) رنگ يك جسم کدر چه چیز را نشان می دهد؟ اگر پرچم سه رنگ ما فقط با نور قرمز روشن شود قسمتهای سبز و سفید و قرمز آن به چه رنگهایی ظاهر خواهند شد؟
- (۷) با چه وسیله ساده ای می توانید نشان دهید که پرتوهای نور به خط راست می گذرند؟ شکل وسیله ای را که پیشگویی می کنید رسم نمایید.
- (۸) ساختمان «اتاق تاریک» را شرح دهید. چرا تصویری که «اتاق تاریک» از يك شیء می دهد وارونه است؟ درباره ابعاد تصویر و وضوح آن در حالات زیر بحث کنید.
- الف- وقتی که فاصله شیء از سوراخ دوبرابر شود؛
- ب- وقتی که قطر سوراخ دوبرابر شود.
- (۹) يك صفحه کدر عمود بر مسیر پرتوهایی که از يك نقطه نورانی خارج می شوند، درست وسط فاصله این نقطه نورانی و يك پرده قرار داده شده و سایه ای از آن بر روی پرده تشکیل یافته است. نسبت ابعاد سایه به ابعاد صفحه را پیشگویی کنید و درباره جواب خود با رسم شکل توضیح دهید.
- (۱۰) با رسم يك شکل گرفتن خورشید را نمایش دهید. آیا ممکن است قطر سایه کامل ماه روی زمین بزرگتر از قطر خود ماه باشد؟ توضیح دهید.

۱۱) می‌دانید مسافتی را که نور در مدت يك سال می‌پیماید سال نوری گویند. اگر همین امشب در ستاره‌ای که ۱۰ سال نوری از زمین فاصله دارد انفجاری رخ دهد چه وقت به وسیله ناظران روی زمین مشاهده می‌شود؟

آیا ممکن است ناظران روی زمین انفجار در ستاره را در همان لحظه وقوع آن ببینند؟ درباره جواب خود توضیح دهید.

این مسئله‌ها را حل کنید

۱) فاصله ماه از زمین تقریباً $۱۰۸ \times ۳/۸$ متر است. يك علامت رادار که با سرعت نور حرکت می‌کند به طرف ماه فرستاده می‌شود و پس از بازتاب از روی سطح ماه به زمین برمی‌گردد. مدت رفت و برگشت این علامت چه اندازه است؟

۲) نور ستاره‌ای ۴ سال طول می‌کشد تا به زمین برسد. فاصله این ستاره را از زمین بر حسب کیلومتر تا سه رقم معنی‌دار حساب کنید.

۳) شمع به طول ۱۰ سانتیمتر جلوی يك «اتاق تاریک» در فاصله ۲۰ سانتیمتری سوراخ آن گذاشته شده است. اگر فاصله صفحه مات «اتاق تاریک» از سوراخ آن ۱۵ سانتیمتر باشد:

الف- طول تصویر این شمع چند سانتیمتر است؟

ب- شمع را در چه فاصله از سوراخ باید گذاشت تا طول تصویر آن ۴ سانتیمتر شود؟

ج- اگر به جای شمع، قابی به ابعاد ۴ در ۳ سانتیمتر، موازی با وجه سوراخ دار اتاق، به فاصله ۲۰ سانتیمتر از آن قرار گیرد مساحت تصویری که از آن بر روی صفحه مات تشکیل می‌شود چند سانتیمتر مربع خواهد بود؟

۴) قرص کدري به قطر ۱۰ سانتیمتر بین يك چشمه نور نقطه‌ای و دیوار يك اتاق قرار دارد و سطح قرص موازی با سطح دیوار است. اگر فاصله قرص از چشمه نور و از دیوار ۱ متر باشد قطر سایه قرص روی دیوار را حساب کنید.

۵) يك چشمه نور به شکل قرصی به قطر ۱ سانتیمتر است که قرص کدري به قطر ۵ سانتیمتر را که در فاصله ۵۰ سانتیمتری آن واقع است روشن می‌کند و سطح قرص موازی با سطح چشمه نور است. قطر سایه و پهنای نیمسایه حاصل از این قرص کدري را روی صفحه‌ای که در فاصله ۲ متری قرص و موازی با آن قرار دارد حساب کنید.

جواب: ۲۱ سانتیمتر و ۴ سانتیمتر

۶) سطح قرص کدري به قطر ۵ سانتیمتر بر پرتوهای خورشید عمود است و سایه آن روی صفحه‌ای موازی با سطح قرص تشکیل شده است. اگر زاویه‌ای که تحت آن خورشید دیده می‌شود $\frac{1}{4}$ درجه قرص شود کمترین فاصله صفحه از قرص چه اندازه باید باشد تا قطر سایه صفر شود؟

جواب: $5/74$ متر

(۷) يك پست فاصله‌یابی مجهز به دو دوربین است كه از يكديگر ۴ متر فاصله دارند. وقتی كه این دوربین‌ها را روی چراغی كه در فاصله دوری از آنها قرار دارد میزان می‌كنند زاویه بین محورهای آنها $1/5$ درجه می‌شود. فاصله چراغ را از دوربین‌ها حساب كنید.

جواب: تقریباً ۱۵۲ متر

پاسخ به پرسشهای متن

(۱-۲) در چراغ برق انرژی الکتریکی و در آتش انرژی شیمیایی. این انرژیها به گرما و نور تبدیل می‌شوند.

(۲-۲) جسم غیرمنیر.

(۳-۲) به صورت انرژی گرمایی. به همین جهت است كه يك قطعه پارچه سیاه بیش از يك قطعه پارچه سفید كه هر دو در نور خورشید باشند گرم می‌شود.

(۴-۲) به جنس ماده و به میزان انرژی فوتونهای نور (یا به توان نور).

(۵-۲) تیره، زیرا جسم قرمز رنگ، فقط نور قرمز را باز می‌تاباند و این نور نمی‌تواند از شیشه سبز رنگ بگذرد و جذب آن می‌شود.

(۶-۲) زیرا پرتوهای نور به خط راست عبور می‌کنند و اجسام كدر مانع عبور پرتوهای می‌شوند كه از نقاط واقع در پشت آنها (نسبت به ناظر) به طرف چشم گسیل می‌شوند.

(۷-۲) اگر روزنه بزرگ باشد می‌توان آن را مجموعه‌ای از روزنه‌های كوچك دانست كه هريك از آنها تصویر جداگانه‌ای از جسم می‌دهد، این تصویرها درهم می‌آمیزند و سبب آشفتگی تصویر کلی می‌شوند. اگر روزنه خیلی كوچك باشد در كناره‌های آن، پدیده تفرق ظاهر می‌شود و بنابراین تصویر جسم واضح نخواهد بود.

(۸-۲) از رابطه ۱-۲ نتیجه می‌شود: $\frac{\text{فاصله تصویر از روزنه}}{\text{فاصله شیء از روزنه}} \times \text{طول شیء} = \text{طول تصویر}$ چون اندازه‌های طول شیء و فاصله تصویر از روزنه همواره ثابت هستند هرچه فاصله شیء از روزنه کمتر شود طول تصویر بزرگتر می‌شود.

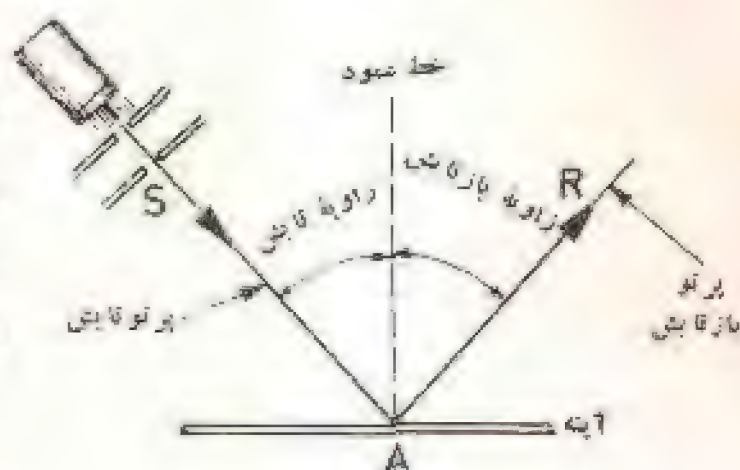
(۹-۲) از تشابه دو مثلث OAB و OA'B' (شكل ۲-۴) نتیجه می‌شود:

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{q}{p}$$

بازتابش نور - آینه‌ها

بازتابش نور

گفتیم هرگاه نور بر جسمی بتابد بخشی از آن از روی جسم باز می‌تابد. بازتابش نور به ویژه وقتی مورد توجه است که یک دسته پرتو نور موازی بر روی یک سطح بسیار خیلی مانند آینه بتابد. در این صورت تقریباً تمام نور با زاویه‌ای برابر با همان زاویه‌ای که تابیده است باز می‌تابد. (شکل ۳-۱)



شکل ۳-۱- قانون بازتاب نور.

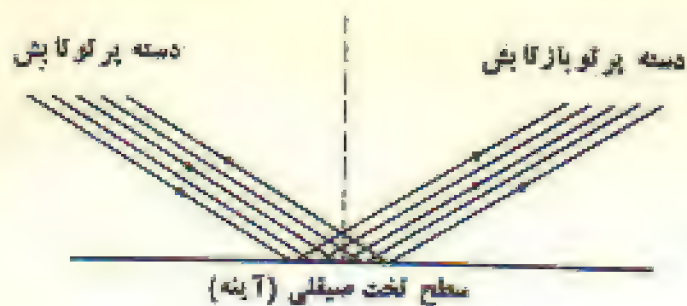
چگونگی بازتابش یکی از پرتوهای نور را همان می‌دهد. در این شکل پرتو (در حقیقت دسته پرتو خیلی باریک) SA که از سوراخ خیلی کوچکی خارج شده است بر روی آینه تختی تابیده و در راستای AR بازتابیده است.

پرتو SA را که از چشمه نور به سطح آینه می‌تابد پرتو تابش (یا شعاع تابش) و پرتو AR را که از روی آینه باز می‌تابد پرتو بازتابش (یا شعاع انعکاس) نامیده‌اند. برای بررسی قانونهای بازتابش نور کافی است عمود AN را بر نقطه تابش A بی‌سطح آینه رسم کنیم. زاویه‌ای که بین این خط عمود و پرتو تابش درست می‌شود زاویه تابش و زاویه‌ای که بین خط عمود و پرتو بازتابش تشکیل می‌شود زاویه بازتابش نامیده شده است.

قانونهای بازتابش نور

- ۱- پرتو تابش و خط عمود در نقطه تابش و پرتو بازتابش هر سه در یک صفحه هستند.
- ۲- زاویه تابش همواره برابر زاویه بازتابش است.

۱- کلمه بازتابش از منطقه‌های فرمتگستان زبان ایران و بهنجای افغانی است.



شکل ۳-۳ بازتابش منظم نور.

بازتابش منظم و پخش نور - همه ما، تفاوت‌هایی را که بین بازتابش نور از روی سطح یک آینه یا سطح آب صاف و آرام و بازتابش نور از روی یک صفحه کاغذ وجود دارد حس می‌کنیم. یکی از تفاوت‌ها این است که ما تصویر خود یا اشیای دیگر را در آینه و آب آرام می‌بینیم در صورتی که در یک صفحه کاغذ با آن که به ظاهر صاف است تصویر دیده نمی‌شود.

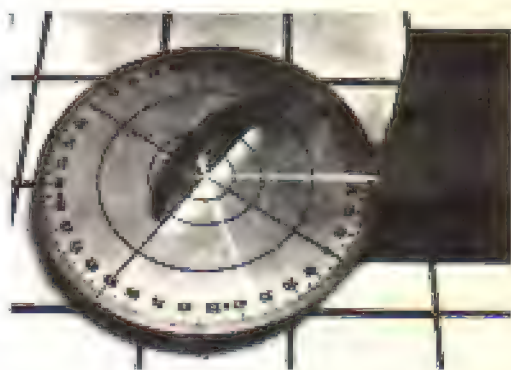
بازتابیدن نور از روی یک سطح تخت صیقلی مانند آینه را بازتابش منظم گویند و بازتابیدن نور از روی یک سطح غیر صیقلی مانند صفحه کاغذ را بازتابش نامنظم یا پخش نور نامند.

شکل ۳-۳ یک دسته پرتو موازی را نشان می‌دهد که از روی یک سطح صیقلی تخت به‌طور منظم بازتابیده است. هر یک از پرتوهای این دسته، چنان بازتابیده است که زاویه‌های تابش و بازتابش آن با هم برابرند و چون تمام این پرتوهای موازی بر روی یک سطح تخت تابیده‌اند پس از بازتابش نیز با هم موازی هستند.

شکل ۳-۴ نشان می‌دهد که یک دسته پرتو موازی پس از تابیدن بر روی صفحه‌ای که صیقلی نیست به اطراف پخش شده است. علت این است که صفحه صیقلی نشده (مثلاً صفحه این کتاب) در مقابل پرتوهای نور کاملاً تخت و هموار نیست بلکه از میلیونها

شکل ۳-۲ تحقیق تجربی بازتابش نور را به وسیله یک اسباب ساده نشان می‌دهد. نور از شکاف باریکی بر روی یک آینه می‌تابد و مسیر پرتوهای تابش و بازتابش بر روی صفحه گرد مدرجی کاملاً مشخص می‌شود به طوری که به آسانی می‌توان زاویه‌های تابش و بازتابش را اندازه گرفت.

پوشش ۳-۱ - اگر پرتو تابش به طور عمودی بر سطح یک آینه تخت بتابد چگونه باز می‌تابد؟ در این صورت زاویه‌های تابش و بازتابش چه اندازه‌اند؟



شکل ۳-۳ تحقیق تجربی بازتابش نور.

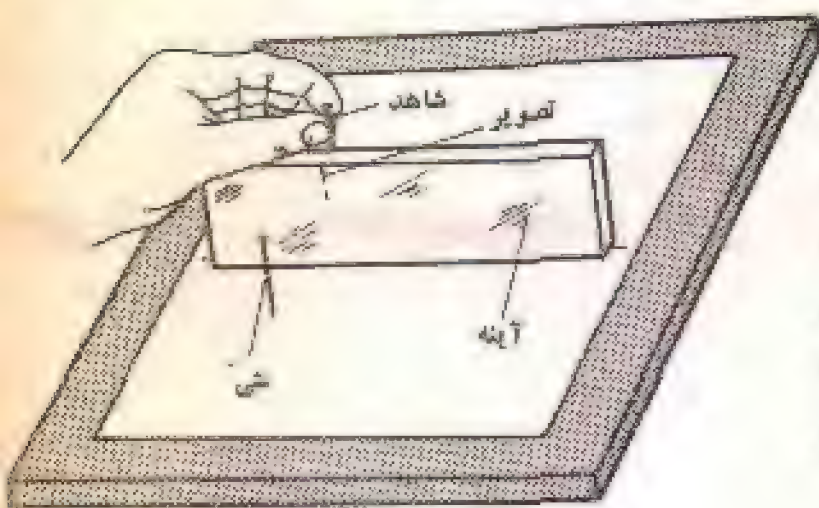


شکل ۳-۴ بازتاب نامنظم یا پخش نور.

طوری‌تائیم روی سطح افقی میز چوبی بنا تخته قرار دهید و سنجاقی را جلو آن روی میز یا تخته نصب کنید (شکل ۳-۵). سپس سنجاق دیگری را پشت آینه در نزدیکی تصویری که از سنجاق اول در آینه می‌بینید قرار دهید به‌طوری‌که سنجاق دوم و تصویر سنجاق اول را با هم ببینید. سنجاق دوم را به دقت جابه‌جا کنید تا از هر زاویه‌ای که نگاه می‌کنید منطبق بر تصویر سنجاق اول دیده شود و آن را در این مکان روی میز یا تخته فرو ببرید. در این صورت سنجاق دوم جای واقعی تصویر سنجاق اول را در آینه نشان می‌دهد. فاصله این دو سنجاق از آینه یکی است. به عبارت دیگر: در آینه تخت فاصله تصویر از آینه برابر فاصله شیء از آینه است.

با يك قطعه شیشه و دو شمع یکسان ممکن است این آزمایش را آسانتر انجام دهید:

شیشه را در مکانی که نور زیاد نیست به‌طور قائم روی میز قرار دهید و یکی از شمعها را روشن کرده و جلو آن بگذارید بدان سائ که تصویر آن را در شیشه ببینید. بدیهی است تصویر شمع روشن در شیشه به روشنی تصویر آن در آینه نیست.



شکل ۳-۵ تعیین جای تصویر در آینه تخت.

صفحه خیلی کوچک تخت درست شده است که روی هر يك از آنها به طریقی است. بنابراین پرتوهای موازی که به این صفحه‌های خیلی کوچک می‌تابند در راستاهای مختلف پخش می‌شوند.

پخش نور در دیدن اجسام نقش مؤثری دارد و سبب می‌شود که ما از هر امتداد و در هر وضع اجسام را، اگر در میدان دید چشمان واقع شوند، ببینیم. پرسش ۳-۲- اجسامی که در سایه یا درون اتاق هستند با آن که در روز نور خورشید به‌طور مستقیم بر آنها نمی‌تابد دیده می‌شوند. علت چیست؟

تصویر در آینه‌های تخت

می‌دانید آینه تخت سطح صاف و مسطحی است که نور را به‌طور منظم باز می‌تاباند.

پرسش ۳-۳- در آینه‌های معمولی سطح بازتاباننده نور چیست؟

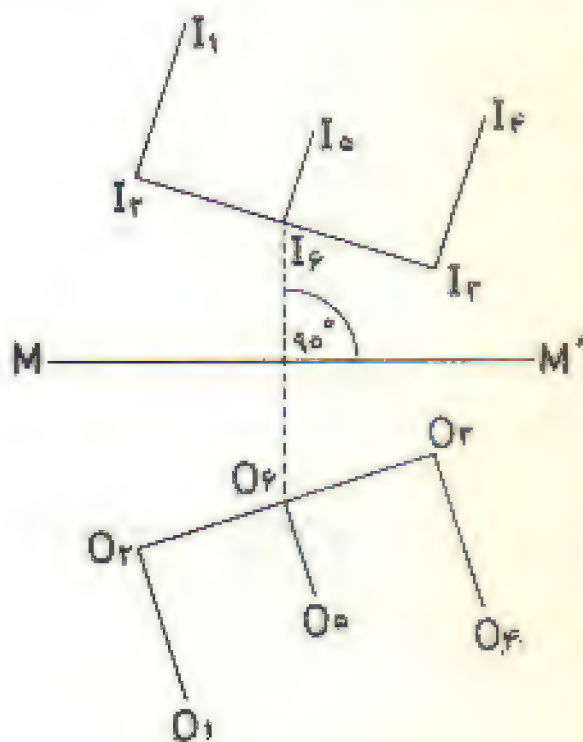
وقتی که در يك آینه تخت نگاه می‌کنید تصویر خود و تصویر اشیایی را که جلو آینه قرار دارند در آن می‌بینید. برای این که به چگونگی تشکیل تصویر در آینه‌های تخت بهتر پی ببرید به این آزمایشها، که خود به آسانی می‌توانید آنها را انجام دهید، توجه کنید:

۱- آینه تخت کوچکی مانند آینه جیبی را به

پرسش ۳-۴- چرا چنین است؟

شمع دوم را پشت شیشه در جایی که تصویر شمع روشن دیده می شود قرار دهید و آن قدر آن را جا به جا کنید تا از هر زاویه که نگاه می کنید آن را منطبق بر این تصویر و در نتیجه روشن ببینید و در این مکان آن را استوار کنید. در این صورت شمع دوم درست جای تصویر شمع اول را در شیشه (که در اینجا در حکم آینه است) نشان می دهد و فاصله دو شمع از شیشه با هم برابر است.

۲- صفحه کاغذی را زیر آینه روی میز بگذارید و حرف E را بزرگ روی این صفحه کاغذ رسم کنید و آن را برای آینه در حکم شیء بگیرید. برای مشخص کردن وضع تصویر حرف E در نقاط مختلف آن مانند O_1 و O_2 و O_3 ... (شکل ۳-۶) سنجاقهایی فرو برید و جای درست تصویر این سنجاقه را در آینه مانند آزمایش (۱) به وسیله سنجاقه های دیگری که در



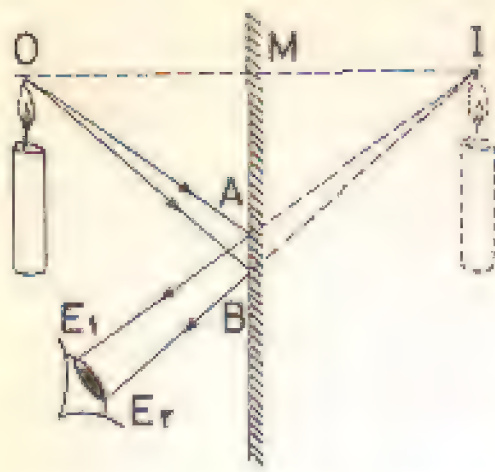
شکل ۳-۶- تصویر در آینه تخت، خط MM' نمایش آینه است.

پشت آینه روی صفحه کاغذ فرو می برید معین کنید. بدین ترتیب نقطه های I_1 و I_2 و I_3 ... به دست می آیند. اگر این نقطه ها را به هم وصل کنید تصویر حرف E در پشت آینه مشخص خواهد شد.

پرسش ۳-۵- در این آزمایش دیده می شود هر خطی که يك نقطه از شیء را به تصویرش وصل کند بر سطح آینه عمود است. آیا می توان این خاصیت را برای رسم تصویر يك شیء به کار برد؟ تصویری که از يك شیء در آینه تخت تشکیل می شود دارای این ویژگیهاست:

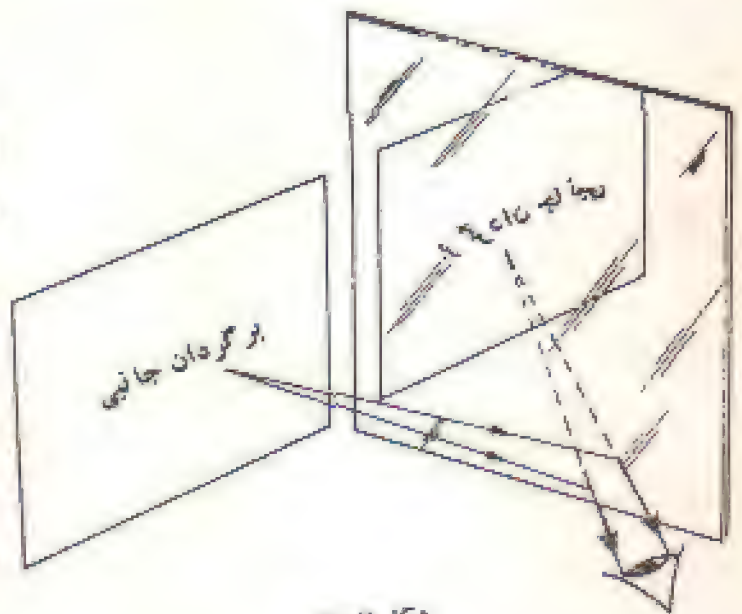
- ۱- بزرگی آن برابر بزرگی شیء است.
- ۲- فاصله آن از آینه برابر فاصله شیء از آینه است.
- ۳- هر يك از نقاط آن نسبت به سطح آینه قرینه نقطه نظیرش در شیء است.
- ۴- مجازی است. یعنی روی يك پرده تشکیل نمی شود.

ما، به سبب مشاهدات روزانه خود با پاره ای از این ویژگیها آشنا هستیم: وقتی که در آینه تخت نگاه می کنیم تصویری از خود در آن می بینیم که به نظر می رسد پشت آینه است. اگر به آینه نزدیک یا از آن دور شویم تصویر ما هم به همان اندازه به آینه نزدیک یا از آن دور می شود به طوری که فاصله آن از آینه همواره برابر فاصله خود ما از آینه است. ولی تصویری را که بدین ترتیب در آینه تخت می بینیم نمی توانیم مانند تصویر حقیقی که به وسیله پروژکتور بر پرده سینما تشکیل می شود روی يك پرده به دست آوریم. به همین جهت آن را تصویر مجازی می گوئیم. این تصویر مجازی، پشت آینه، در جایی دیده می شود که امتداد پرتوهای بازتابیده



شکل ۳-۸- طرز دیدن تصویر در آینه تخت.

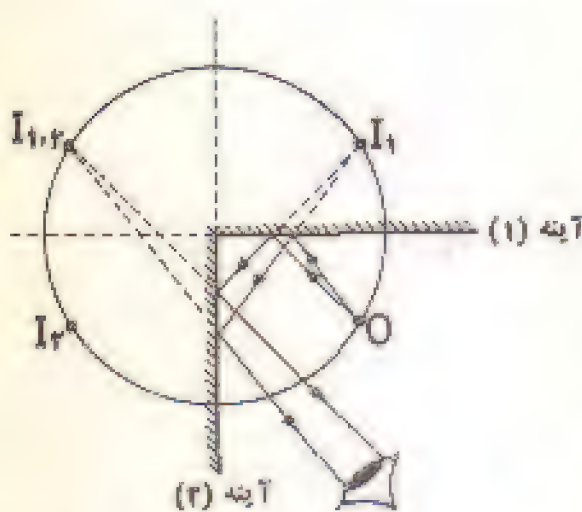
در آنجا به هم می‌رسند. از طرف دیگر چون هر نقطه از تصویر نسبت به سطح آینه قرینه نقطه نظیرش در جسم است، وقتی که مقابل آینه می‌ایستیم دست چپ تصویر در واقع، تصویر دست راستمان است. این خاصیت را برگردان جانبی می‌نامند و شما می‌توانید با نگاه داشتن یک نوشته یا یک صفحه کتاب جلو آینه تخت به خوبی آن را مشاهده کنید (شکل ۳-۷).



شکل ۳-۷

به مردمک چشم دیده می‌شود، در صورتی که قسمت IAB این دسته پرتو وجود ندارد زیرا نور شمع به قسمت پشت آینه نمی‌تابد. در واقع قسمت حقیقی ABE_1E_2 این دسته پرتو، حاصل از بازتابش دسته پرتو مخروطی شکل OAB است که از نقطه O به سطح AB آینه می‌تابد و بنابراین نه‌ای بازتابش نور از روی آن باز می‌تابد. بدیهی است تصویر نقطه‌های دیگر شمع نیز به همین گونه دیده می‌شود.

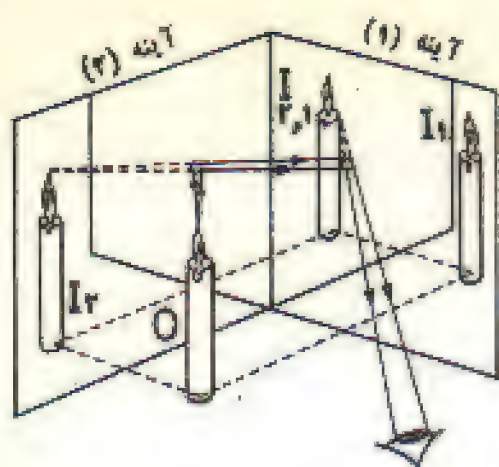
تصویرهایی که در دو آینه تخت عمود برهم تشکیل می‌شوند وقتی که جسمی را مقابل دو آینه عمود برهم قرار می‌دهیم علاوه بر دو تصویر I_1 و I_2



شکل ۳-۹- بازتابش نور از روی دو آینه عمود برهم.

چگونه چشم، تصویر در آینه تخت را می‌بیند؟ بگذارید موضوع را با طرح این پرسش شروع کنیم: چگونه چشم تصویر نولک شعله یک شمع روشن را در آینه تخت می‌بیند؟

جای تصویر این نقطه را چنان که دیدیم به آسانی می‌توان تعیین کرد: کافی است از نقطه O، نولک شعله (شکل ۳-۸)، خط OM را عمود بر آینه رسم کنیم و آن را به اندازه $IM = OM$ امتداد دهیم. نقطه I تصویر نقطه O خواهد بود. وقتی که در آینه نگاه می‌کنیم به ظاهر چنین به نظر می‌رسد که نقطه I در نتیجه وارد شدن دسته پرتو مخروطی شکل IE_1E_2



شکل ۱۵-۳- تصویرهایی که در دو آینه تخت عمود برهم تشکیل می‌شوند.

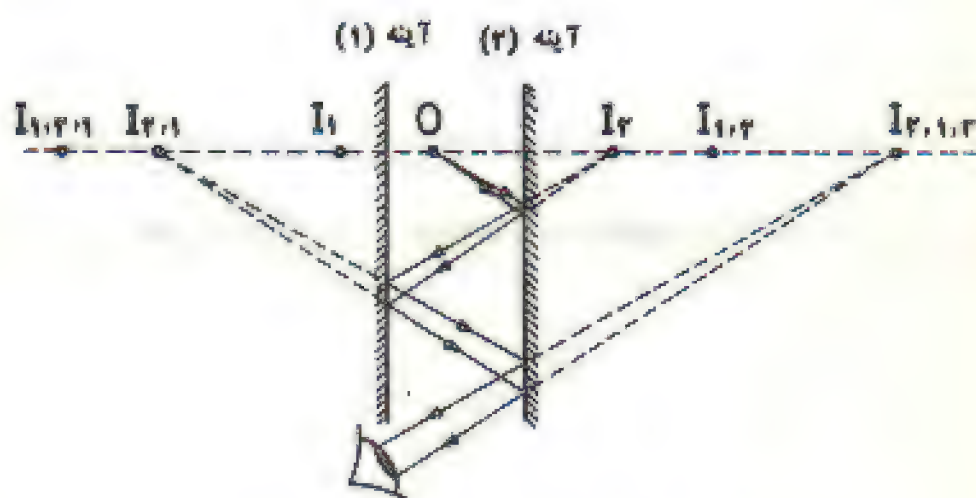
آینه‌های موازی

از جسمی که میان دو آینه تخت موازی واقع باشد بی‌نهایت تصویر در دو آینه تشکیل می‌شود و تمام این تصویرها روی خط راستی واقعند که از شی عمود بر دو آینه رسم شود (شکل ۱۱-۳).

جای تصویرها را به آسانی می‌توانیم معین کنیم و برای این منظور باید در نظر داشته باشیم تصویری که در يك آینه تشکیل می‌شود برای آینه دوم در حکم شی است. مثلاً تصویر $I_{1,2}$ که از بازتابش نور از روی آینه ۲ به دست می‌آید در حکم شی برای

که به طور مستقیم در نتیجه يك بازتابش نور از روی هريك از دو آینه تشکیل می‌شوند دو تصویر اضافی دیگر هم خواهیم داشت که در اثر دوبار بازتابش نور از روی دو آینه حاصل می‌شوند. در شکل ۹-۳ مسیر دسته پرتوی که سبب دیدن یکی از این دو تصویر اضافی، مثلاً $I_{1,2,1}$ می‌شود نشان داده شده است. زیر نویسه‌های ۲ و ۱ در علامت $I_{1,2}$ ترتیب بازتابش نور را از روی آینه‌های ۲ و ۱ نشان می‌دهد و این تصویر، طبق شکل، در آینه ۲ دیده می‌شود. اگر در آینه ۱ نگاه کنیم تصویر $I_{2,1}$ دیده می‌شود. این دو تصویر روی هم می‌افتند و در تشکیل آنها تصویرهای I_1 و I_2 مانند دو جسم عمل می‌کنند.

پرسش ۳-۶- چگونه با روش ساده‌ای می‌توانید جای این تصویرها را در دو آینه مشخص کنید؟ از لحاظ هندسی، جسم و تصویرهای آن روی محیط دایره‌ای قرار دارند که مرکز آن روی خط مشترک دو آینه است. از این خاصیت می‌توان برای تعیین جای تصویرها استفاده کرد. در شکل ۱۵-۳ باز تابیدن دسته پرتوی که سبب دیدن يك نقطه از تصویر $I_{1,2,1}$ می‌شود مجسم شده است.



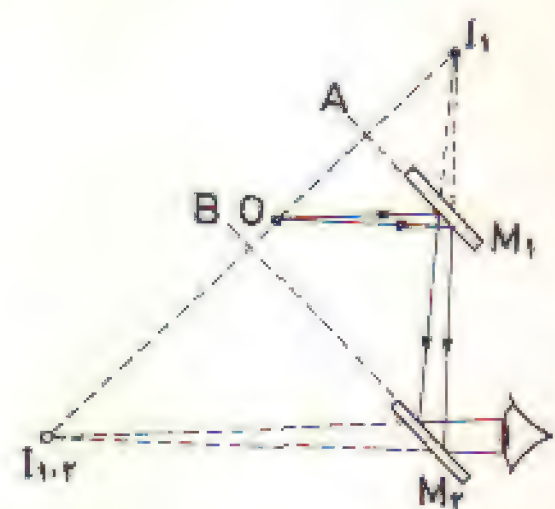
شکل ۱۱-۳- تصویرهایی که در دو آینه موازی تشکیل می‌شوند.



شکل ۳-۱۳- چند تصویر در این عکس دیده می‌شود؟

آینه ۱ است و تصویر $I_{۱۰۱}$ را در این آینه تشکیل می‌دهد. این تصویر به نوبه خود در حکم شیء برای آینه ۲ است و از آن تصویر $I_{۱۰۲}$ در این آینه تشکیل می‌گردد.

هر چه فاصله تصاویرها از دو آینه بیشتر شود روشنی آنها کمتر می‌گردد زیرا در هر یک از بازتابشهای متوالی مقداری از انرژی تابشی جذب دو آینه می‌شود.



شکل ۳-۱۴- مدار تشکیل تصویر در آینه‌های پرiskop.

یادآوری - از دو آینه تخت موازی می‌توان

برای ساختن پرiskopهای ساده استفاده کرد.

شمار سال سوم راهنمایی با ساختمان پرiskop آشنا شده‌اید. در اینجا فقط مسیر دسته پرتوی را که متعرج به دیدن تصویر يك نقطه ارضی می‌شود نشان می‌دهیم (شکل ۳-۱۳). آینه بالایی M_1 از نقطه O تصویر I_1 را می‌دهد که برای آینه M_2 در حکم شیء است و از آن در این آینه تصویر $I_{۱۰۲}$ تشکیل می‌شود. هنگام رسم مسیر پرتوها توجه داشته باشید که:

$$AI_1 = AO$$

$$I_1B = I_{۱۰۲}B$$

و خط $I_1I_{۱۰۲}$ بر سطح دو آینه عمود است و هر يك از آینه‌ها با راستای قائم زاویه 45° می‌سازد.

با پرiskop می‌توان در يك زیر دریایی، رفت و آمد کشتیها را روی دریا مشاهده کرد. در این پرiskopها به جای آینه از منشور استفاده می‌شود و برای این که مسافتهای دورتری با آنها دیده شود دوربین نیز به آنها اضافه می‌شود.

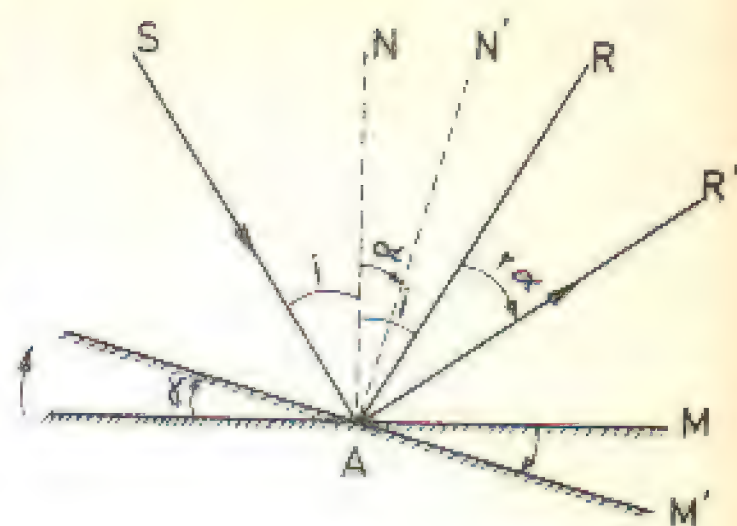
دوران پرتو بازتابش در اثر دوران آینه

اگر يك پرتو نورانی با زاویه تابش 1 بر سطح يك آینه تخت بتابد، زاویه بازتابش آن نیز برابر 1 است. بنابراین زاویه بین دو پرتو تابش و بازتابش ۲1 خواهد بود.

اینک فرض کنید بدون آن که راستای زاویه تابش تغییر کند آینه به اندازه زاویه α بچرخد به طوری که زاویه تابش $1 + \alpha$ بشود (شکل ۳-۱۴). زاویه بازتابش نیز $1 + \alpha$ می‌شود. بنابراین زاویه بین پرتوهای تابش و بازتابش در این حالت $2 + 2\alpha$ است. در نتیجه، پرتو بازتابش به اندازه 2α چرخیده است.

نامیده می‌شود. در شکل ۳-۱۵ این مرکز با نقطه C نمایش داده شده است. مرکز C در آینه‌های مقعر جلو آینه و در آینه‌های محدب پشت آینه است. خط راستی که مرکز C را به میان آینه (نقطه P) متصل می‌کند محور اصلی آینه نامیده می‌شود. فاصله $CP = r$ شعاع انحنا آینه یا به عبارت ساده‌تر شعاع آینه است. بدیهی است شعاع آینه همان شعاع کروی است که آینه قسمتی از سطح آن را تشکیل می‌دهد.

اگر ابعاد آینه نسبت به شعاع آن کوچک باشد رفتار آینه در مقابل نور ساده است و ما این گونه آینه‌ها را بررسی خواهیم کرد



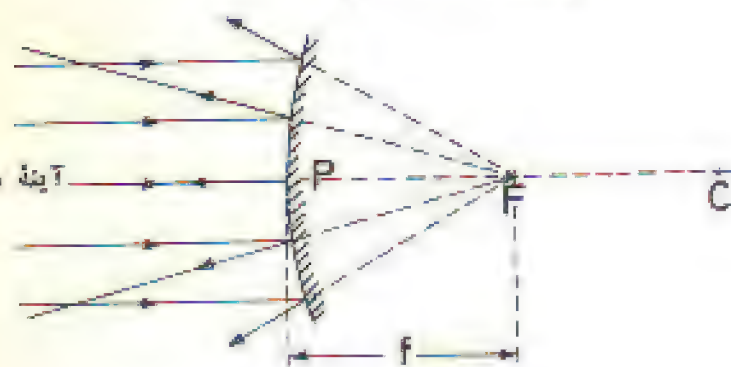
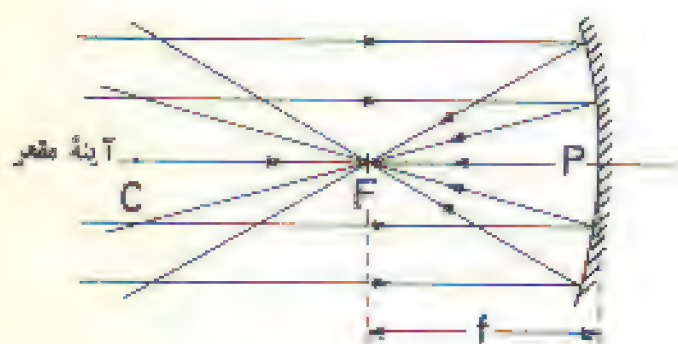
شکل ۳-۱۶-۱۷ آینه به اندازه زاویه α دوران کند پرتو بازتابش α دوران می‌کند.

خواهید دید که از این خاصیت برای اندازه‌گیری شدت جریانهای الکتریکی ضعیف در اسبابی به نام گالوانومتر استفاده می‌شود.

آینه‌های کروی

طرز تشکیل تصویر در آینه‌های تخت را دیدیم. در اینجا می‌خواهیم چگونگی تشکیل تصویر را در آینه‌هایی که سطح آنها خمیده است به ویژه در آینه‌های کروی بررسی کنیم.

آینه کروی معمولاً از یک قطعه شیشه نقره‌اندود ساخته می‌شود که قسمت کوچکی از سطح یک کره توخالی را تشکیل می‌دهد. اگر طرف بیرونی این سطح نقره‌اندود شده باشد طرف داخلی آن که کوا است صیقلی است و نور را باز می‌تاباند. در این صورت آینه را مقعر یا کاد می‌گویند. و اگر طرف درونی این سطح نقره‌اندود شده باشد طرف بیرونی آن که کوژ است نور را باز می‌تاباند. در این حالت آینه را محدب یا کوژ می‌نامند. مرکز کروی که آینه قسمتی از سطح آن است مرکز انحنا آینه یا به اختصار مرکز آینه



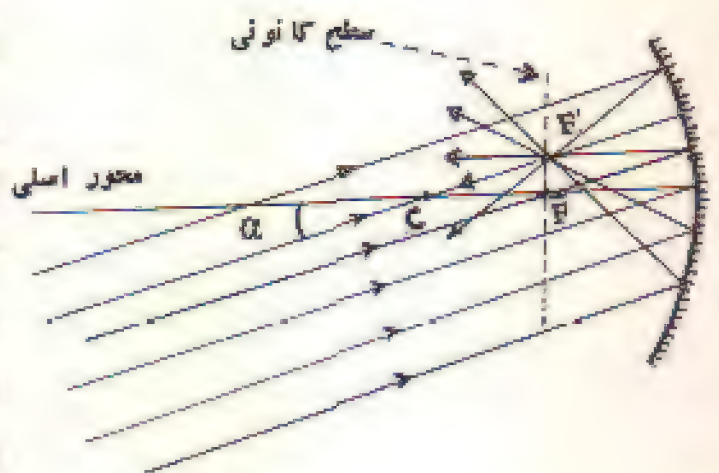
شکل ۳-۱۸ بازتاب پرتوهای موازی از روی آینه‌های کروی.

قانون اصلی - دیدیم وقتی که یک دسته پرتو موازی به سطح آینه تخت می‌تابد به صورت یک دسته پرتو موازی باز می‌تابد ولی در آینه‌های کروی این طور نیست: وقتی که پرتوهای موازی به سطح یک

آینه کروی مقعر می‌تابند پس از بازتابش در يك نقطه به نام كانون به هم می‌رسند. اگر پرتوهای تابش موازی محور اصلی آینه باشند كانون نیز روی محور اصلی و تقریباً وسط فاصله نقاط G و P واقع است و كانون اصلی نامیده می‌شود (نقطه F شکل ۳-۱۵).

اگر پرتوهای تابش موازی با محور اصلی آینه مقعر نباشند ولی با آن زاویه کوچکی بسازند پس از بازتابش، در نقطه دیگری واقع در يك صفحه که از كانون اصلی آینه می‌گذرد و بر محور اصلی آن عمود است به هم می‌رسند.

این صفحه را سطح کانونی آینه گویند (شکل ۳-۱۶)

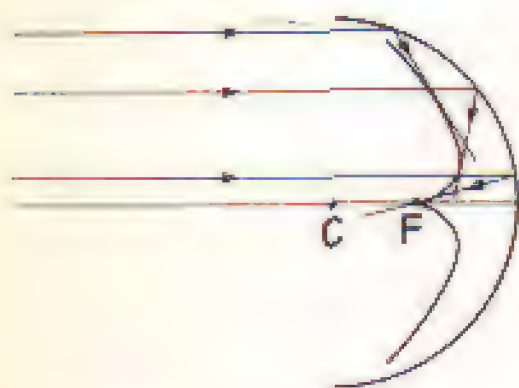


شکل ۳-۱۶- پرتوهای تابش با محور اصلی آینه زاویه کوچک α (حرف یونانی با تلفظ آلفا) می‌سازند و پس از بازتابش در نقطه‌ای مانند F واقع در سطح کانونی به هم می‌رسند.

پوش ۳-۷ - آیا قانونهای بازتابش نور درباره پرتوهایی که به سطح آینه کروی می‌تابند نیز به کار می‌روند؟
در شکل ۳-۱۵ چگونگی بازتابیدن يك دسته

پرتو موازی با محور اصلی، از روی يك آینه محدب نیز نشان داده شده است. در این حالت پرتوهای تابش طوری باز می‌تابند که به نظر می‌رسد از نقطه F (كانون اصلی آینه) که در پشت آینه تقریباً وسط فاصله نقاط G و P واقع است خارج می‌شوند. بنابراین آینه‌های مقعر دارای كانون حقیقی و آینه‌های محدب دارای كانون مجازی هستند.

به خاطر داشته باشید که كانون آینه کروی در صورتی فقط يك نقطه است که قطر دهانه آینه و گودی آن نسبت به شعاع آینه خیلی کوچک باشد. ولی در آینه‌هایی که قطر دهانه یا گودی آنها بزرگ است مثلاً در يك آینه مقعر به شکل نیمکره، پرتوهای موازی پس از بازتابیدن از روی آینه به جای آن که در يك نقطه به هم برسند در روی يك سطح به هم برخورد می‌کنند (شکل ۳-۱۷). چنین سطحی را سطح سوزان نامیده‌اند. مثلاً، اگر نور خورشید یا نور يك چراغ که نسبتاً دور است به درون يك فنجان جای بتابد اغلب در سطح چای يك منحنی سوزان روشن دیده می‌شود. اگر آینه کوچک باشد یا دسته پرتو موازی نزدیک به محور اصلی بر سطح آینه بتابد سطح سوزان به صورت يك نقطه به نام كانون اصلی ظاهر می‌شود.



شکل ۳-۱۷- بازتابش نور از روی يك آینه مقعر به شکل نیمکره.

با توجه به واقعیهایی که گفته شد می توان این تعریفها را نتیجه گرفت:

کانون اصلی يك آینه کروی نقطه ای است روی محور اصلی آینه به طوری که تمام پرتوهای موازی با محور اصلی و نزدیک به آن پس از بازتابیدن از روی آینه در این نقطه به هم می رسند، یا این که به ظاهر، از این نقطه به صورت پرتوهای واگرا از هم دور می شوند. فاصله کانون اصلی را از میان آینه (یعنی از نقطه P محل تلاقی محور اصلی با آینه) فاصله کانونی نامند و آن را به حرف «f» نمایش می دهند.

فاصله کانونی آینه کروی تقریباً برابر نصف شعاع آینه است. یعنی:

$$f \approx \frac{r}{2}$$

تعیین جای تصویر به کمک رسم پرتوها - دیدیم که برای تعیین جای هر نقطه از تصویر يك شیء در آینه کافی است که محل تلاقی دو پرتو بازتابیده از روی آینه را معین کنیم و برای این که عمل ترسیم آسانتر شود بهتر این است که دو پرتو مورد نظر را طوری انتخاب کنیم که از لحاظ هندسی نمایش آنها به صورت پرتوهای تابش و بازتابش آسان باشد.

می دانیم اگر پرتوی بر سطح آینه عمودی بتابد بر روی خود بازمی تابد. از طرف دیگر از لحاظ هندسی شعاع کرم، در هر نقطه، بر سطح کرم در آن نقطه عمود است. بنابراین بهتر این است که پرتوی را انتخاب کنیم که از مرکز آینه می گذرد و در نتیجه بر سطح آینه عمودی تابیده و بر روی خود بازمی تابد.

پرتو دوم را موازی با محور اصلی آینه انتخاب می کنیم. این پرتو پس از بازتابیدن از روی آینه از کانون اصلی آن می گذرد. برعکس هر پرتوی که از

کانون اصلی آینه بگذرد و بر آینه بتابد موازی با محور اصلی باز می تابد. چون این مطالب درباره آینه های مقعر (کاو) و محدب (کوژ) هر دو صدق می کند برای تعیین جای تصویر در آینه های کروی آنچه را که در بالا بیان کردیم در چهار قاعده زیر خلاصه می کنیم:

۱- پرتوی که از مرکز آینه بگذرد و بر آینه بتابد روی خودش بازمی تابد.

۲- پرتوی که موازی با محور اصلی بر آینه بتابد پس از بازتابیدن از روی آینه از کانون اصلی می گذرد.

۳- پرتوی که از کانون اصلی بگذرد و بر آینه بتابد موازی با محور اصلی آینه بازمی تابد.

۴- پرتوی که نسبت به محور اصلی با زاویه معین به میان آینه (محل تقاطع محور اصلی با آینه) بتابد به هنگام بازتابیدن، همان زاویه را با محور اصلی می سازد.

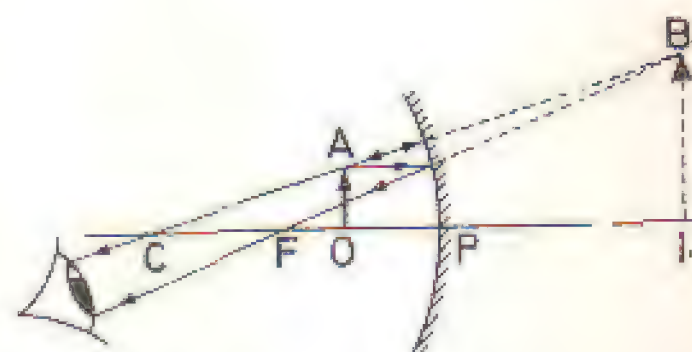
پرسش ۳-۸- چرا چنین است؟

دوباره یاد آور می شویم که از این چهار پرتو فقط دو تای آنها برای تعیین جای تصویر کافی است.

تصویر در آینه های مقعر (کاو)

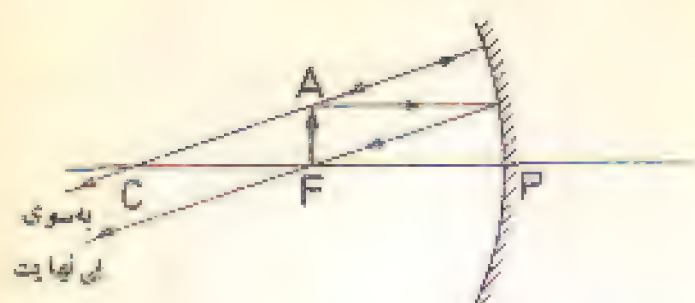
در شکل های ۳-۱۸ تا ۳-۲۳ تصویر يك شیء که در جاهای مختلف روی محور اصلی يك آینه مقعر قرار گرفته نمایش داده شده است. در این شکلها، شیء با پیکان OA و تصویر با پیکان IB عمود بر محور اصلی مشخص گردیده است. در شکل ۳-۱۸، شیء OA در فاصله کانونی آینه (بین نقاط F و P) قرار گرفته و برای تعیین جای تصویر نقطه A از دو قاعده

۲۰۱ استفاده شده است. به طوری که در شکل دیده می شود پرتوهای بازتابش در جلو آینه از یکدیگر دور می شوند و به نظر می رسد که از نقطه B پشت آینه خارج می گردند. بنابراین B تصویر مجازی A است. اگر همین روش را برای یافتن تصویر نقاط دیگر شیء OA به کار ببریم تصویر IB به دست خواهد آمد که عمود بر محور اصلی آینه است. این تصویر بزرگتر از شیء، مستقیم، مجازی و در پشت آینه است.



شکل ۴-۱۸
شیء بین F و P (در فاصله کانونی)
تصویر: ۱) پشت آینه ۲) مجازی
۳) مستقیم ۴) بزرگتر از شیء

در آینه های صورت تراشی و آینه هایی که دندان پزشکان برای امتحان دندانها به کار می برند این گونه تصویر دیده می شود. در شکل ۳-۱۹ شیء روی کانون اصلی آینه قرار گرفته است. در این حالت پرتوهای بازتابیده با هم موازی هستند و چون این پرتوها به هم نمی رسند تصویر واضحی به دست نمی آید ولی معمول چنین است که می گویند تصویر در بی نهایت تشکیل می شود.



شکل ۴-۱۹
شیء در کانون F
تصویر: در بی نهایت

در شکل های ۳-۲۵ تا ۳-۲۳ تصویر حقیقی است. اگر پرده سفیدی در محل تشکیل تصویر گذاشته شود تصویر روی این پرده می افتد و از هر سو دیده می شود.

در اینجا دوباره یادآور می شویم که تشخیص تصویر حقیقی از تصویر مجازی مهم است:

تصویر حقیقی از تلاقی پرتوهای بازتابش به وجود می آید و جلو آینه است. در صورتی که تصویر مجازی ظاهراً از تلاقی امتداد پرتوهای بازتابش در پشت آینه تشکیل می شود.

فرق اساسی بین دو تصویر حقیقی و مجازی این است که تصویر حقیقی را می توان روی یک پرده تشکیل داد در صورتی که تصویر مجازی را نمی توان روی یک پرده به دست آورد.

در همه شکلها بنابر قرارداد، قسمت حقیقی پرتو و تصویرهای حقیقی با خطهای توپر و قسمت مجازی پرتوها و تصویرهای مجازی با خطهای نقطه چین نمایش داده شده است و جهت تابش پرتوها با پیکان مشخص گردیده است.

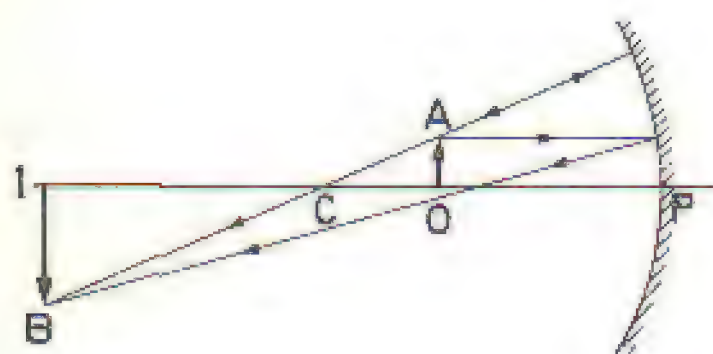
در شکل های ۳-۲۵ تا ۳-۲۳ جاهای شیء و تصویر نمونه هایی از دو نقطه مزدوج هستند. منظور از

تولید يك دسته پرتو موازی به وسیله

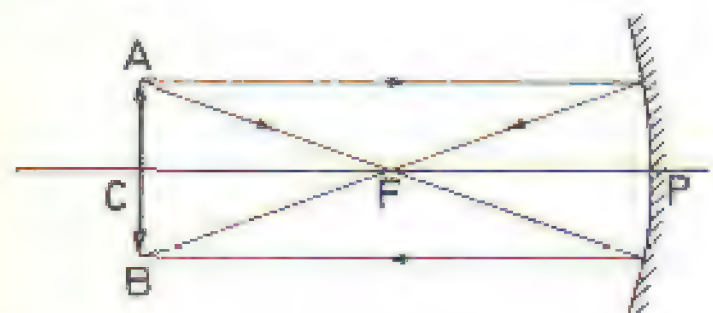
آینه مقعر

با توجه به اصل بازگشت نور می توان يك نقطه نورانی (چشمه نور خیلی كوچك) در كانون اصلی يك آینه مقعر كه دهانه آن كوچك است قرار داد و يك دسته پرتو موازی به وجود آورد. این عمل مانند حالتی است كه جسم در كانون و تصویر آن در بی نهایت است.

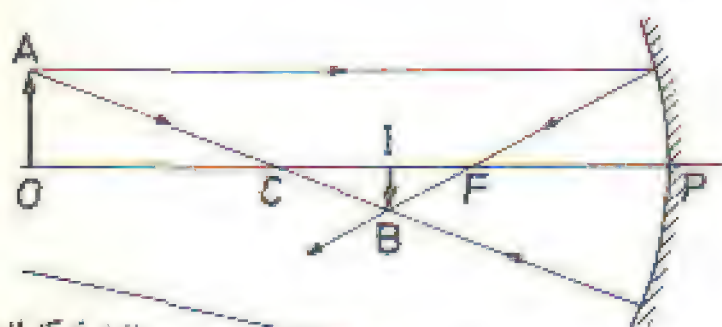
دو نقطه مزدوج يك جفت نقطه است كه اگر شیء در یکی از آن دو نقطه قرارگیرد تصویر حقیقی آن در دست در نقطه دیگر تشکیل شود. اگر شیء به جای تصویر منتقل شود تصویر به جای شیء انتقال خواهد یافت. این واقعیت را اصل بازگشت نور نامیده اند. از آینه های مقعر علاوه بر مواردی كه بیان شد در نورافکنها، چراغهای جلو اتومبیل، تلسكوپ های انعكاسی و كوره های آفتابی استفاده می شود.



شكل ۲۰-۳
شیء بین F (كانون) و C (مرکز آینه)
تصویر: ۱) خارج از فاصله CP (بین مركز و بی نهایت)
۲) حقیقی ۳) وارونه ۴) بزرگتر از شیء

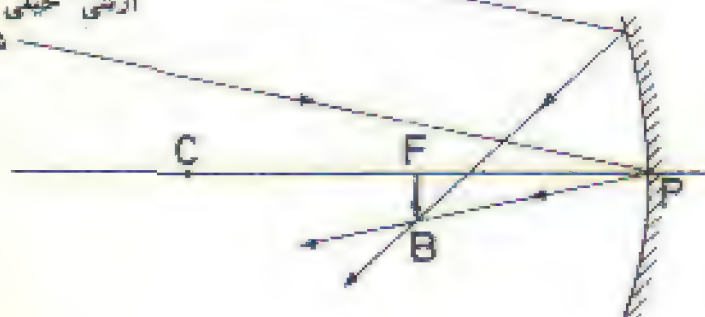


شكل ۲۱-۳
شیء در مركز C
تصویر: ۱) در C ۲) حقیقی
۳) وارونه ۴) برابر خود شیء



شكل ۲۲-۳
شیء خارج از فاصله CP
تصویر: ۱) بین C و F ۲) حقیقی
۳) وارونه ۴) كوچكتر از شیء

دو پرتو كه از يك نقطه
از شیء خیلی دور گسیل
شده اند



شكل ۲۳-۳
شیء در بی نهایت (خیلی دور)
تصویر: ۱) در كانون F ۲) حقیقی
۳) وارونه ۴) كوچكتر از شیء

اگر بخواهیم دسته پرتوگسترده‌ای مانند نور حاصل از چراغهای جلو اتومبیل داشته باشیم باید سطح آینه را مطابق شکل ۳-۲۴ شلجی شکل انتخاب کنیم.



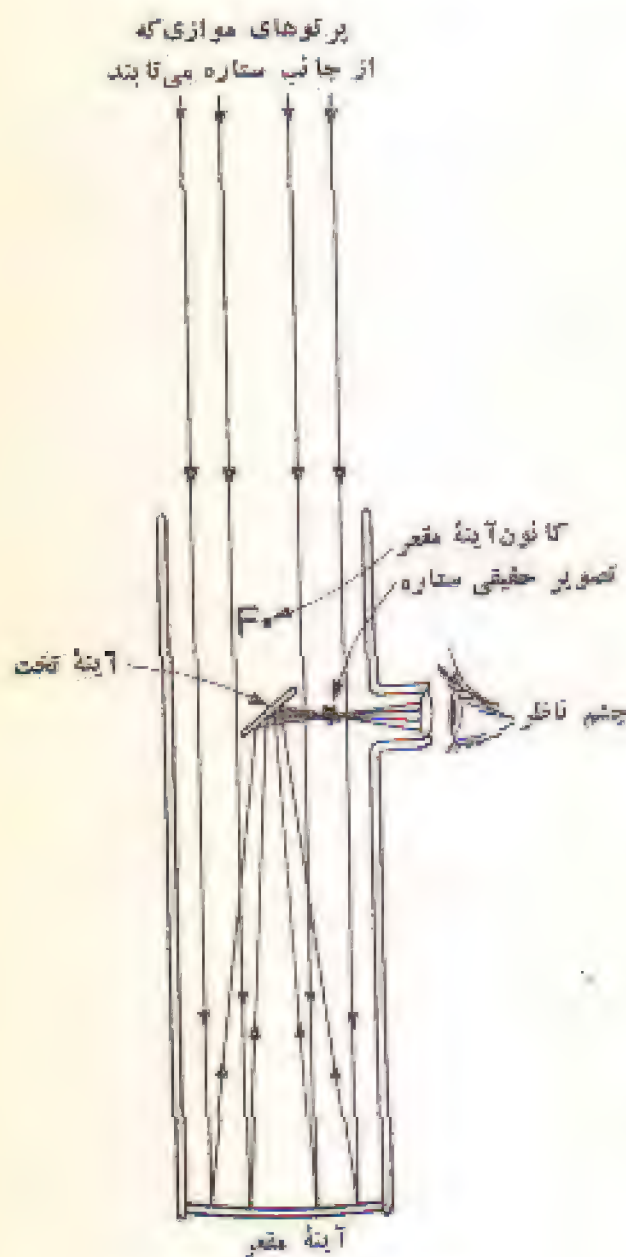
شکل ۳-۲۴- آینه شلجی شکل.

تلسکوپ انعکاسی

در دوره راهنمایی باطرز کار تلسکوپ انعکاسی آشنا شده‌اید. شکل ۳-۲۵ اساس کار این تلسکوپ را نشان می‌دهد. چون این تلسکوپ برای دیدن اجسام خیلی دور مانند ستارگان به کار می‌رود پرتوهایی که از آنها وارد تلسکوپ می‌شوند و به سطح آینه آن می‌تابند عملاً با هم موازی هستند، در نتیجه تصویر این اجسام در کانون اصلی آینه تشکیل می‌شود. آینه تخت کوچک M درون لوله تلسکوپ در جلو کانون اصلی طوری نصب شده است که با محور اصلی آینه زاویه ۴۵° درجه می‌سازد. این آینه پرتوهای را که از روی آینه مقعر بازتابیده می‌شوند مطابق شکل به طرف جایی که چشم قرار می‌گیرد منعکس می‌کند. برای بزرگ کردن این تصویر می-

توان از یک عدسی همگرا (که در حکم ذره بین است) استفاده کرد.

نخستین نمونه این نوع تلسکوپ در قرن هفدهم میلادی توسط نیوتن ساخته شد که قطر دهانه آینه آن ۲۵ میلیمتر بود. بزرگترین تلسکوپ انعکاسی که اکنون در جهان موجود است در رصدخانه «موننت پالومار»^۱ در کالیفرنیا قرار دارد که قطر دهانه آن



شکل ۳-۲۵- تلسکوپ انعکاسی.



شکل ۳-۲۷- این کوره آفتابی از آینه مقعر بزرگی ساخته شده است که انرژی تابشی خورشید را در کانون خود متمرکز می‌کند. دمای نمونه‌های کوچکی که در کانون آن قرار داده شوند تا 5000°C بالا می‌رود.

تشکیل تصویر در آینه‌های محدب (کوژ)

آینه‌های محدب برخلاف آینه‌های مقعر (که می‌توانند از یک جسم تصویر حقیقی یا مجازی بدهند) از یک جسم فقط تصویر مجازی تشکیل می‌دهند. این تصویر همواره مستقیم و کوچکتر از جسم است و در فاصله بین F (کانون اصلی آینه) و P (میان آینه) تشکیل می‌شود (شکل ۳-۲۸).

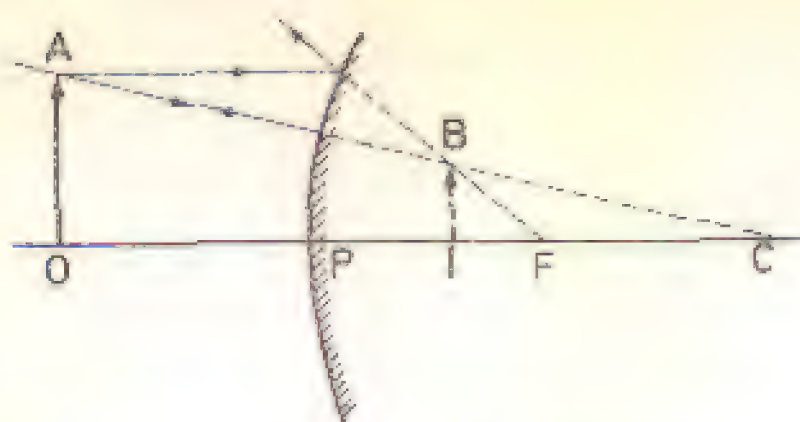
آینه‌های محدب به سبب دادن تصویر مستقیم و داشتن میدان دید گسترده در وسیله‌های نقلیه زیاد به کار می‌روند. در شکل ۳-۲۹ میدانهای دید یک آینه محدب و یک آینه تخت هم اندازه با هم مقایسه شده است.

تقریباً ۵ متر است و ساختن این آینه چند سال طول کشیده است. چون سطح آینه خیلی بزرگ است در کانون آن مقدار زیادی انرژی نورانی متمرکز می‌شود و به رعدکنندگان امکان می‌دهد که تصویر ستارگان خیلی دور را ببینند و از آنها عکسبرداری کنند. هوای صاف و بدون گردوغبار بالای کوه پائوما را به این موضوع کمک می‌کند.

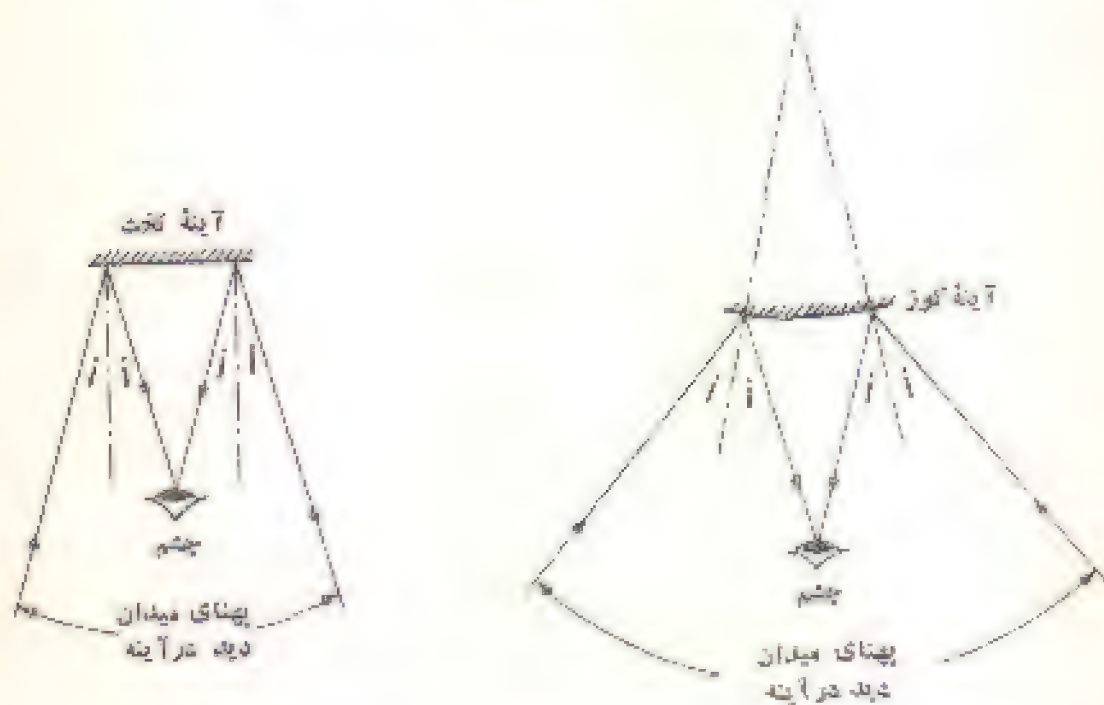


شکل ۳-۲۹- تلسکوپ انعکاسی مونک پائوما که قطر دهانه آینه آن ۵ متر است.

کوره آفتابی - این نوع کوره از یک آینه مقعر بزرگ ساخته شده و طوری نصب گردیده است که همواره متوجه خورشید است و به وسیله یک دستگاه مونوردر تمام مدت و همراه حرکت خورشید می‌چرخد و نور و حرارت آن را در کانون اصلی خود متمرکز می‌کند. درجه حرارت (دما) در کانون آینه خیلی بالا می‌رود و ممکن است به 5000°C برسد.



شکل ۳-۳۸- تشکیل تصویر در آینه مقعر (کوز)



شکل ۳-۳۹- میدان دید يك آینه مقعر از میدان دید يك آینه تخت هم اندازه آن مستروده تر است.

میایستری یا کاغذ شطرنجی استفاده کنیم و طول ضلع هر مربع روی کاغذ را هر چه باشد به عنوان واحد (در اینجا يك سانتیمتر) به کار ببریم (شکل ۳-۳۵). در این شکل خط MPM' نمایش آینه مقعر و خط OP که بر آن عمود است نمایش محور اصلی آینه است. شیء به خط OA به طول ۵ برابر واحد انتخابی نمایش داده شده است و به فاصله ۳۴ واحد از نقطه P (میان آینه) قرار دارد و عمود بر محور اصلی است. فاصله کانونی آینه هم ۲۰ برابر واحد انتخاب شده است.

پرسش ۳-۹ - به نظر شما چه عواملی در میدان دید يك آینه (یعنی فضایی که در آینه توسط ناظر دیده می شود) مؤثر است؟
يك مثال عملی - می خواهیم به وسیله رسم دقیق، جای و بزرگی تصویر يك شیء به طول ۵ سانتیمتر را که در فاصله ۳۴ سانتیمتری آینه مقعری به فاصله کانونی ۲۰ سانتیمتر عمود بر محور اصلی آن قرار داده شده است پیدا کنیم.
 برای این منظور بهتر این است که از کاغذ

و فاصله تصویر آن را از آینه به q ($IP=q$) و فاصله کانونی آینه را چنان که دیدیم به f نمایش دهیم، با استفاده از شکل (۳-۳۵) ثابت می‌شود که بین p و q و f این رابطه برقرار است:

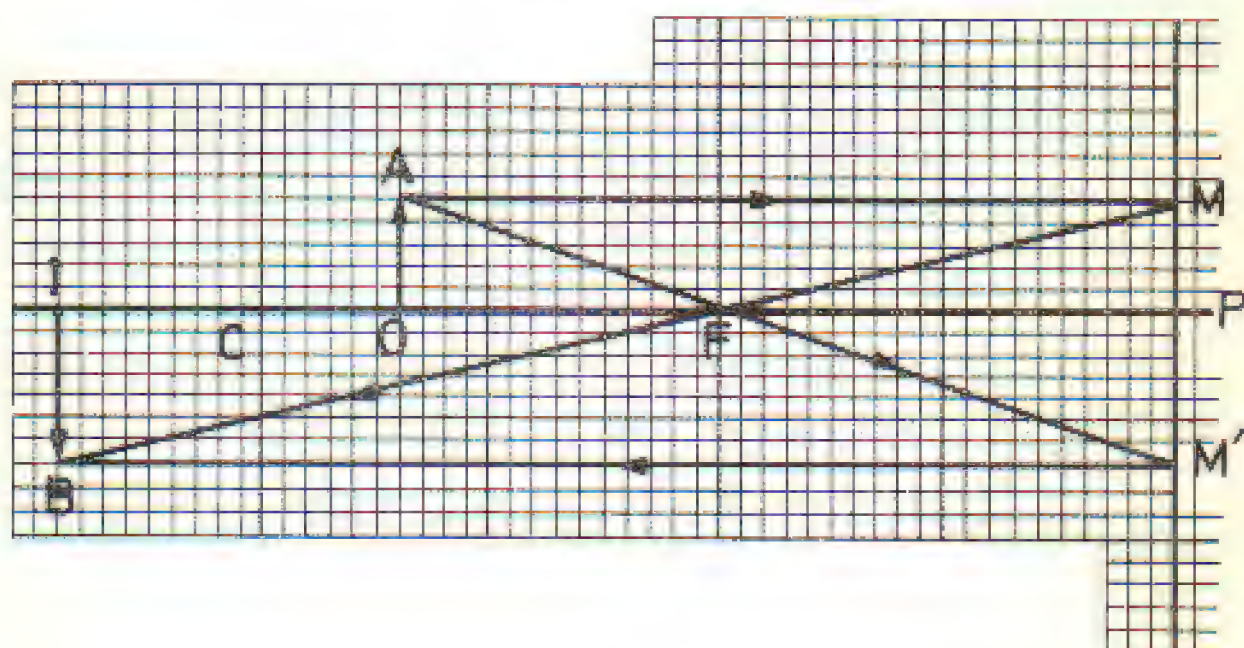
$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad (۳-۱)$$

در صورتی که p (فاصله شی' از آینه) و f (فاصله کانونی) مشخص باشند q (فاصله تصویر از آینه) به آسانی حساب می‌شود.

پوشش ۳-۱۵ - چگونه می‌توانید از تشابه مثلثها در شکل ۳-۳۵ این رابطه را به دست آورید؟

برای تعیین جای تصویر، دو پرتو تابش از نقطه A رسم شده است: پرتوی که موازی با محور اصلی است و پرتوی که از کانون گذشته است. این دو پرتو پس از بازتابیدن از روی آینه در نقطه B به هم می‌رسند. بدیهی است نقطه B تصویر حقیقی نقطه A و خط IB که عمود بر محور اصلی است تصویر کامل شی' OA است. به طوری که در شکل دیده می‌شود این تصویر در فاصله q سانتیمتری نقطه P واقع است و وارونه و به طول ۷ سانتیمتر است.

می‌توانیم بی‌آن که مسیر پرتوها را رسم کنیم جای و بزرگی تصویر را از راه محاسبه نیز به دست آوریم: اگر فاصله شی' را از آینه به p (یعنی $OP=p$)



شکل ۳-۴

نمونه‌ها

تصویر IB :

(۱) در فاصله q cm از نقطه P است.

(۲) به طول ۷ cm است.

(۳) حقیقی است.

(۴) وارونه است.

داده‌ها

آینه مقعر: MM'

فاصله کانونی: $PF = f = ۴$ cm

شی' OA به طول ۴ cm

فاصله شی' از آینه $PO = ۳۴$ cm

بزرگنمایی آینه

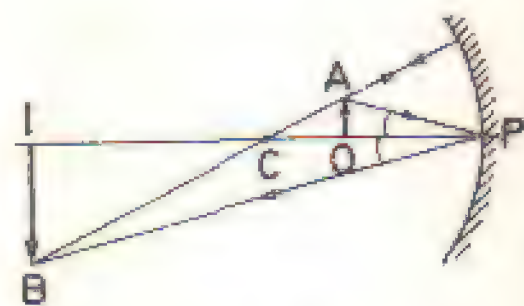
چون بزرگی تصویر در يك آینه كروی، بسته به جای شی، متغیر است در مسائل مربوط به آینه‌های كروی به جای صحبت از بزرگی تصویر، معمولاً از بزرگنمایی آینه بحث می‌شود.

بزرگنمایی يك آینه بنا به تعریف عبارت است از:

$$\text{بزرگنمایی آینه} = \frac{\text{بلندی تصویر}}{\text{بلندی شی}} = \frac{IB}{OA}$$

از تشابه دو مثلث AOP و BIP (در شکل ۳-)

۳۱) به آسانی نتیجه گرفته می‌شود که :



شکل ۳-۳۱

$$OA = \text{شی} \quad IB = \text{تصویر}$$

$$\frac{IB}{OA} = \frac{\text{فاصله تصویر از آینه IP}}{\text{فاصله شی از آینه OP}}$$

بنابر این:

$$\text{بزرگنمایی آینه} = \frac{IB}{OA} = \frac{q}{p} \quad (۳-۲)$$

به کمک رابطه (۳-۱) جای تصویر نسبت به آینه و به کمک رابطه (۳-۲) بزرگی آن مشخص می‌شود.

چون این رابطه‌ها در مورد آینه‌های مقعر و محدب، هم برای تصویر حقیقی و هم برای تصویر مجازی هر دو صادق است باید برای اندازه‌های p و q ، بنا به قرارداد، علامتهای جبری در نظر بگیریم به طوری که این رابطه‌ها در هر حال به کار روند. برای این منظور می‌توانیم یکی از دو قرارداد زیر را به کار ببریم:

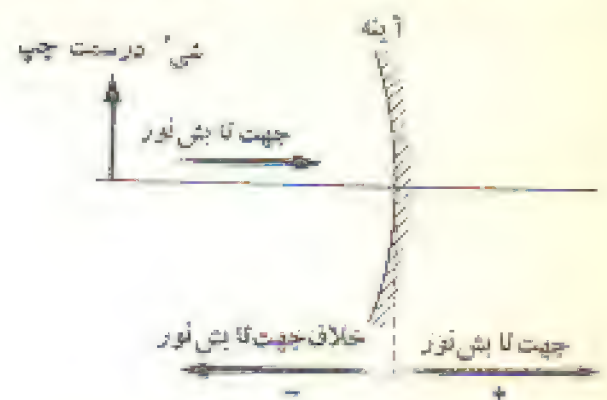
الف- قرارداد «جهت تابش نور مثبت است» در این قرارداد:

- ۱- آینه مبدأ منشش تمام فاصله‌هاست؛
- ۲- اندازه فاصله‌ها در جهت تابش نور با علامت مثبت منظور می‌شود؛
- ۳- اندازه فاصله در خلاف جهت تابش نور با علامت منفی در نظر گرفته می‌شود.

در این قرارداد فاصله کانونی آینه مقعر با علامت منفی و فاصله کانونی آینه محدب با علامت مثبت در نظر گرفته می‌شود. زیرا این فاصله‌ها به ترتیب در خلاف جهت تابش نور و هم جهت با تابش نور هستند. یکی از مزایای این قرارداد آن است که اگر شی در طرف چپ آینه قرار گیرد می‌توانیم علامتهای جبری متداول را که روی محورهای مختصات در نظر گرفته می‌شوند به کار ببریم (شکل ۳-۳۲)،

۱- برای حل مسائل آینه‌ها لازم نیست از هر دوروش استفاده کنید بلکه هر کدام را که در غور ذوق و سلیقه خود می‌پایید به کار ببرید.

یعنی فاصله‌ها را از چپ به راست با علامت مثبت و از راست به چپ با علامت منفی منظور داریم.



شکل ۳-۳. قرارداد جهت تابش نور مثبت.

ب - قرارداد «حقیقی مثبت است» در این قرارداد:

۱- آینه مبدأ سنجش تمام فاصله‌هاست!

۲- فاصله هر شیء یا هر تصویر حقیقی از آینه با علامت مثبت منظور می‌شود؛

۳- فاصله هر شیء^{*} یا هر تصویر مجازی از آینه با علامت منفی منظور می‌شود.

چون کانون آینه مقعر حقیقی و کانون آینه محدب مجازی است، در این قرارداد، فاصله کانونی آینه مقعر مثبت و فاصله کانونی آینه محدب منفی در نظر گرفته می‌شود.

چند مثال

۱- شیئی را ابتدا در فاصله ۲۰ سانتیمتری، سپس در فاصله ۴ سانتیمتری آینه مقعری که فاصله کانونی آن ۱۲ سانتیمتر است روی محور اصلی آینه قرار می‌دهیم. نوع و جای تصویر آن را در دو حالت پیدا کنید.

۲- آینه مقعری از يك شیء به طول ۲/۵ میلیمتر که در فاصله ۵ سانتیمتری آن واقع شده تصویری حقیقی به طول يك سانتیمتر تشکیل داده است. جای تصویر و فاصله کانونی آینه را حساب کنید.

۳- آینه محدبی به فاصله کانونی ۱۸ سانتیمتر از يك شیء حقیقی تصویری در روی محور اصلی خود

بنا به قرارداد «حقیقی مثبت است»

حالت یکم- داریم:

$$p = +20 \text{ cm} \quad (\text{شیء حقیقی})$$

$$f = +12 \text{ cm}$$

این اندازه‌ها را در فرمول قرار می‌دهیم:

$$\frac{1}{20} + \frac{1}{q} = \frac{1}{12}$$

بنا به قرارداد «جهت تابش نور مثبت است»

حالت یکم- داریم:

$$p = -20 \text{ cm} \quad (\text{شیء در طرف چپ آینه})$$

$$f = -12 \text{ cm}$$

این اندازه‌ها را در فرمول قرار می‌دهیم:

$$\frac{1}{-20} + \frac{1}{q} = \frac{1}{-12}$$

۱- شیء مجازی وجود ندارد ولی چنین تعریف می‌شود:

هرگاه در مسیر پرتوهای همگرا و تشکیل دهنده يك تصویر حقیقی (مثلا پرتوهایی که از روی يك آینه مقعر بازتابیده می‌شوند) آینه‌ای (یا اسباب نوری دیگری) قرار داده شود آن تصویر دیگر تشکیل نمی‌شود و برای این آینه (یا اسباب نوری) در حکم شیء مجازی است.

تشکیل داده است که فاصله آن از آینه ۶ سانتیمتر است. فاصله جسم را از آینه حساب کنید.

در نتیجه: $q = +30\text{cm}$ علامت (+) نشان می‌دهد که تصویر حقیقی است، بنابراین یک تصویر حقیقی در فاصله ۳۰ سانتیمتری آینه تشکیل می‌شود.	در نتیجه: $q = -30\text{cm}$ علامت (-) نشان می‌دهد که تصویر همان طرف شی* است بنابراین یک تصویر حقیقی در فاصله ۳۰ سانتیمتری آینه در همان طرف شی* تشکیل می‌شود.
حالت دوم- $p = +4\text{cm}$ بنابراین $\frac{1}{f} + \frac{1}{q} = \frac{1}{12}$ در نتیجه $q = -6\text{cm}$ علامت (-) نشان می‌دهد که تصویر مجازی است، بنابراین تصویر مجازی و در فاصله ۶ سانتیمتری آینه تشکیل می‌شود.	حالت دوم- $p = -4\text{cm}$ بنابراین $\frac{1}{-f} + \frac{1}{q} = \frac{1}{-12}$ در نتیجه $q = +6\text{cm}$ علامت (+) نشان می‌دهد که تصویر طرف راست آینه (یعنی پشت آینه) است، بنابراین مجازی و در فاصله ۶ سانتیمتری آینه است.

بنا به قرارداد «حقیقی مثبت است» داریم: $p = 5\text{cm}$ و: $\frac{\text{فاصله تصویر از آینه}}{\text{طول تصویر}} = \frac{\text{فاصله شی* از آینه}}{\text{طول شی*}}$ یا: $\frac{1}{0.25} = \frac{q}{5}$ و از آنجا: $q = 20\text{cm}$ بنابراین، فاصله این تصویر حقیقی از آینه ۲۰ سانتیمتر است. از طرف دیگر داریم: $\frac{1}{+5} + \frac{1}{+20} = \frac{1}{f}$ یا: $f = +4\text{cm}$	بنا به قرارداد «جهت تابش نور مثبت است» داریم: $p = -5\text{cm}$ (شی* در طرف چپ آینه) و: $\frac{\text{فاصله تصویر از آینه}}{\text{طول تصویر}} = \frac{\text{فاصله شی* از آینه}}{\text{طول شی*}}$ یا: $\frac{1}{0.25} = \frac{q}{-5}$ و از آنجا: $q = -20\text{cm}$ بنابراین تصویر در فاصله ۲۰ سانتیمتری آینه و در همان طرفی است که شی* قرار دارد. از طرف دیگر داریم: $\frac{1}{-5} + \frac{1}{-20} = \frac{1}{f}$ یا: $f = -4\text{cm}$
---	--

بنابه قرارداد «جهت تابش نور مثبت است»

داریم: (تصویر در طرف راست آینه) $q = +6\text{cm}$

(آینه محدب است) $f = +18\text{cm}$

این اندازه‌ها را در فرمول قرار می‌دهیم:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$$

در نتیجه $p = -9\text{cm}$

یعنی فاصله شی از آینه ۹ سانتیمتر است و

شی در طرف چپ آینه قرار دارد.

بنابه قرارداد «حقیقی مثبت است» داریم:

(تصویر مجازی است) $q = -6\text{cm}$

(کانون مجازی است) $f = -18\text{cm}$

این اندازه‌ها را در فرمول قرار می‌دهیم:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$$

در نتیجه $p = +9\text{cm}$

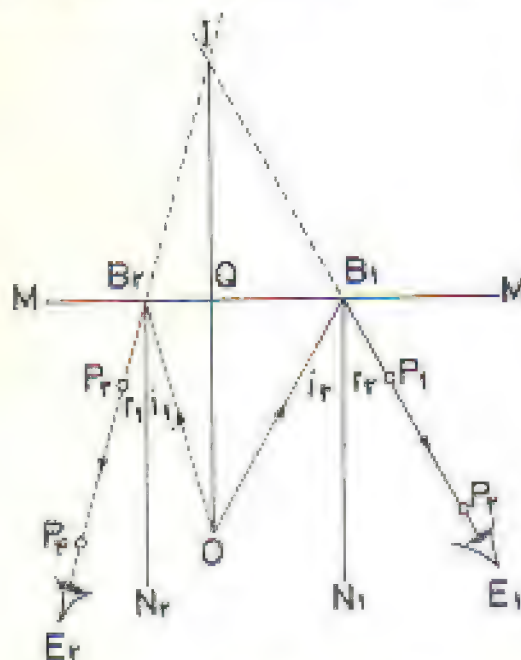
یعنی فاصله شی از آینه ۹ سانتیمتر است و

شی حقیقی است.

خودتان آزمایش کنید

۱) تحقیق کنید که هنگام بازتابش نور از روی یک آینه زاویه تابش برابر زاویه بازتابش است. يك صفحه کاغذ روی سطح ميز چوبی یا تخته افقی بگسترانید و يك آینه تخت باریك عمود بر صفحه کاغذ روی آن قرار دهید. سنجاق O را (شکل ۳-۳۳) در حدود فاصله ۱۵ سانتیمتری آینه نصب کنید و از نقطه‌ای مانند E_1 در آینه نگاه کنید تا تصویر سنجاق را در آن ببینید. دو سنجاق دیگر P_1 و P_2 را عمودی روی

صفحه کاغذ نصب کنید که هر دوی آنها را با تصویر سنجاق O در آینه (یعنی I) در يك راستا ببینید. سپس سنجاقهای P_1 و P_2 را بردارید و جای آنها را به دقت روی صفحه کاغذ با گذاشتن دو نقطه توسط مداد مشخص نمایید. با تغییر دادن جای چشم از E_1 به E_2 آزمایش را تکرار کنید و نقاط P_1 و P_2 را به دست آورید. خط MM' را که نمایش اثر تماس آینه با کاغذ و معرف سطح بازتابنده پرتوهاست روی صفحه کاغذ رسم کنید و آینه را بردارید. نقطه‌های P_1 و P_2 را (در آزمایش اول) و P_1 و P_2 را (در آزمایش دوم) به هم وصل کنید. محل برخورد امتدادهای دو خط P_1P_2 و P_2P_1 در پشت آینه نقطه I خواهد بود که جای تصویر سنجاق O است. خطهای OB_1 و OB_2 نمایش پرتوهای تابش و خطهای B_1P_1 و B_2P_2 نمایش

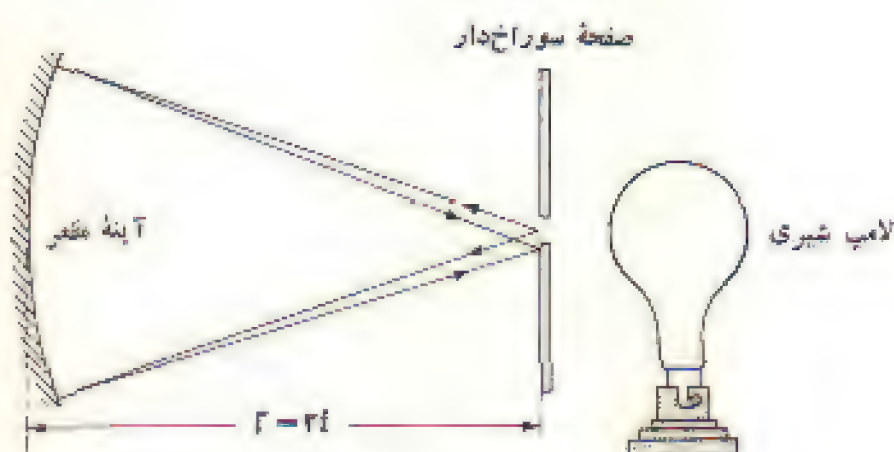


شکل ۳-۳۳ تحقیق تجربی قانون بازتابش نور

پرتوهای بازتابش خواهند بود. دوخط $B_1 N_1$ و $B_2 N_2$ را در دو نقطه B_1 و B_2 عمود بر اثرآینه (یعنی خط MM') رسم کنید و زاویه‌های تابش i_1 و i_2 و بازتابش r_1 و r_2 را اندازه بگیرید و درستی قانون $i=r$ را بررسی کنید.

۲) فاصله کانونی يك آینه مقعر را تعیین کنید - الف در شکل ۳-۲۱ دیدید که اگر شیء در مرکز آینه مقعری قرار گیرد تصویر آن حقیقی و درخود مرکز تشکیل می‌شود. این واقعیت را می‌توانید برای اندازه‌گیری فاصله کانونی آینه مقعر به کار ببرید:

صفحه فلزی سفید و نازکی را که در وسط سوراخی دارد آماده کرده آن را روی پایه‌ای نصب کنید. صفحه را از پشت به وسیله لامپ الکتریکی روشن کنید. آینه مقعری را جلو صفحه بگذارید و آن قدر آینه را جلو و عقب ببرید تا تصویر واضح سوراخ را نزدیک سوراخ بر صفحه ببینید (شکل ۳-۳۴). بهتر این است که يك رشته سیم نازک در امتداد قطر سوراخ روی صفحه نصب کنید تا تصویر سوراخ بر روی صفحه کاملاً واضح دیده شود. در این حالت فاصله صفحه از آینه برابر شعاع آینه یا فاصله کانونی آن است. یعنی $r=2f$ و $f=\frac{r}{2}$



شکل ۳-۳۴- تعیین فاصله کانونی آینه مقعر.

ب- می‌توانید به کمک رابطه $\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$ فاصله کانونی آینه مقعر را پیدا کنید: شیء کوچک روشنی (مثلاً يك شمع كوچك روشن) را روی پایه‌ای قرار دهید و آن را جلو آینه مقعری بگذارید به طوری که عمود بر محور اصلی آینه قرار گیرد. آینه یا شیء را آن قدر جا به جا کنید تا تصویر حقیقی و بزرگتر و واضحی از آن بر روی يك صفحه شیشه‌ای مات به دست آورید. سپس فاصله شیء (p) و فاصله تصویر (q) را از آینه به دقت اندازه بگیرید و از روی رابطه $f = \frac{pq}{p+q}$ فاصله کانونی f را حساب کنید.

به این پرسشها پاسخ دهید

- (۱) قانونهای بازتابش نور را از روی آینه تخت شرح دهید.
- (۲) با بیان يك آزمایش نشان دهید که فاصله تصویر از آینه تخت برابر فاصله شیء از آینه است.
- (۳) با رسم شکل نشان دهید که:
الف - هرگاه يك شیء بین دو آینه تخت عمود برهم قرار گیرد سه تصویر مجازی از آن در آینه تشکیل می شود.
- ب - چگونه در پریسکوپ تصویر يك شیء دیده می شود.
- (۴) با رسم يك شکل توضیح دهید چگونه تصویر يك نقطه روشن در آینه تخت دیده می شود.
- (۵) فرق بین بازتابش منظم و پخش نور چیست؟ چرا صفحه های غیر صیقلی کتاب از صفحه های خیلی صیقلی و براق بهتر است؟
- (۶) يك پرتو نور طوری به آینه تختی می تابد که زاویه بین این پرتو و پرتو بازتابیده آن ۴۵ درجه است. بدون این که راستای پرتو تابش را تغییر دهیم آینه را به اندازه ۱۵ درجه به دور محوری که عمود بر سطح تابش است (یعنی عمود بر سطحی که شامل پرتوهای تابش و بازتابش است) می چرخانیم. در این حالت زاویه بین پرتو تابش و پرتو بازتابش چند درجه خواهد شد؟
- (۷) مدادی را مقابل آینه تختی موازی با سطح آینه نگاه داشته ایم و تصویر آن را در آینه می بینیم. اگر مداد را به اندازه ۹۰ درجه بچرخانیم به طوری که راستای آن بر سطح آینه عمود شود زاویه بین مداد و تصویرش چند درجه تغییر خواهد کرد؟
- (۸) با رسم شکل دقیقی، مرکز انحنا، محور اصلی و کانون اصلی آینه کروی (مقعر و محدب) را نشان دهید.
- (۹) يك پرتو نورانی از مرکز آینه مقعری گذشته و بر سطح آینه تابیده است. زاویه تابش این پرتو چند درجه است؟ بازتابش آن چگونه است؟
- (۱۰) هرگاه يك شیء به موازات امتداد خود از بی نهایت تا مرکز آینه مقعری به آینه نزدیک شود تصویرش در آینه در چه ناحیه ای تأییر مکان می دهد؟ با رسم يك شکل پاسخ خود را مجسم کنید.
- (۱۱) با رسم يك شکل نشان دهید چگونه يك آینه مقعر از يك شیء که جلو آن است تصویر مستقیم می دهد. یکی از کاربردهای عملی آینه را در این حالت بیان کنید.
- (۱۲) تصویر حقیقی با تصویر مجازی چه تفاوتی دارد؟ با رسم شكل نشان دهید که يك آینه مقعر چگونه می تواند از يك شیء که در جلو آن قرار می گیرد هم تصویر حقیقی و هم تصویر مجازی بدهد.
- (۱۳) چگونه می توان جای مرکز انحناي يك آینه کروی مقعر را تعیین کرد؟
- (۱۴) يك شمع و يك آینه مقعر در اختیار داریم:
- الف - شمع را کجا باید قرار دهیم تا تصویر آن در آینه معکوس و بزرگتر از خود شمع باشد؟

سم شمع را کجا باید قرار دهیم تا تصویر آن به اندازه خود شمع باشد؟ درباره پاسخهای خود با رسم شکل توضیح دهید.

(۱۵) با رسم شکل نشان دهید که چگونه می‌توان برای به دست آوردن يك دسته پرتو نور موازی از يك آینه شلجی و يك نقطه نورانی استفاده کرد؟

(۱۶) روی يك صفحه کاغذ، نیم‌دایره‌ای به شعاع ۱۵ سانتیمتر رسم کنید و آن را در حکم يك آینه مقعر بگیرید. دو شعاع موازی در دو طرف محور اصلی آن طوری رسم کنید که فاصله هریک از آنها از محور ۶ سانتیمتر باشد. با استفاده از قانونهای بازتابش نور، نقطه‌ای را پیدا کنید که بازتابش این پرتوها در آنجا به هم می‌رسند.

این روش را روی همین شکل با رسم دو پرتو دیگر که فاصله آنها از محور ۲ سانتیمتر باشد تکرار کنید و درباره نتیجه‌هایی که به دست می‌آورید بحث کنید.

(۱۷) چرا در روابط نفاذ اغلب از آینه‌های محدب استفاده می‌شود؟

(۱۸) هرگاه يك شیء به موازات خود از بی‌نهایت تا سطح آینه محدبی به آن نزدیک شود تصویرش در آینه در چه ناحیه‌ای تغییر مکان می‌دهد؟ جهت تغییر مکان شیء و تصویر نسبت به هم چگونه است؟ نشان دهید که این تصویر همواره مستقیم و مجازی است.

(۱۹) يك دسته پرتو همگرا به آینه تختی می‌تابد. این دسته پرتو پس از بازتابش از روی آینه:

۱- تصویر حقیقی تشکیل می‌دهد.

۲- تصویر مجازی تشکیل می‌دهد.

۳- تصویر تشکیل نمی‌دهد.

۴- دو تصویر، یکی حقیقی و یکی مجازی تشکیل می‌دهد.

پاسخ درست را با رسم شکل مشخص کنید.

(۲۰) توسط آینه محدبی از يك شیئی تصویری بر روی پرده‌ای به دست آمده است. این شیء:

۱- الزاماً حقیقی است.

۲- الزاماً مجازی است.

۳- ممکن است حقیقی یا مجازی باشد.

پاسخ درست را با رسم يك شکل مشخص کنید.

(۲۱) اگر با يك آینه مقعر و يك نقطه نورانی بخواهیم يك دسته پرتو همگرا بسازیم نقطه نورانی

را در چه وضعی نسبت به آینه باید قرار دهیم؟

۱- روی کانون آینه

۲- خارج از فاصله کانونی آینه

۳- در فاصله کانونی آینه

۲- روی خود آینه.

در پاسخ درست بحث کنید.

(۲۲) يك آينه كروی از شيشی حقیقی تصویر مجازی داده است که بزرگی آن دو برابر شیء است:

۱- آينه مقعر و شیء بین کانون و مرکز آن است.

۲- آينه مقعر و شیء بین مرکز آن و بینهایت است.

۳- آينه مقعر و شیء در فاصله کانونی آن است.

۴- آينه محدب و شیء نزدیک به رأس آن است.

پاسخ درست را با رسم شکل مشخص کنید.

این مسئله‌ها را حل کنید

(۱) شخصی مقابل آينه تختی ایستاده است و تصویر خود را در آن می‌بیند. هرگاه شخص و آينه

هر يك با سرعت ۲ متر بر ثانیه به هم نزدیک شوند سرعت انتقال تصویر در آينه چند متر بر ثانیه است؟

(۲) شخصی جلو يك آينه تخت در فاصله دومتري آن ایستاده است و تصویر تابلویی را که در فاصله

۱/۵ متری پشت سر او به دیوار آویزان است در آينه می‌بیند. تصویر تابلو در چه فاصله از او در آينه

تشکیل شده است؟

(۳) آينه تختی به طول ۱۰ سانتی‌متر به دیوار آویخته شده و ناظری در فاصله يك متری مقابل آن

ایستاده است و تصویر درختی را که در فاصله ۵۰ متری آينه است در آن می‌بیند اگر از دید این ناظر

تصویر درخت تمام طول آينه را فراگرفته باشد ارتفاع درخت را حساب کنید.

جواب: ۵/۱ متر

(۴) با رسم يك شکل نشان دهید شخصی که بلندی قامتش ۱۸۰ سانتیمتر است برای دیدن تصویر

تمام قد خود در آينه تختی که به دیوار آویخته شده است احتیاج به آينه‌ای که بلندی آن ۱۸۰ سانتیمتر

باشد ندارد.

اگر فرضاً چشمان این شخص ۱۲ سانتیمتر پایین‌تر از بالاترین قسمت سر او قرار گرفته باشد حداقل

بلندی آينه و فاصله آن از كف اتاق چه اندازه باید باشد؟

(۵) يك آينه مقعر به شعاع ۳۰ سانتیمتر از شيشی که در مقابل آن است تصویر حقیقی روی محور

اصلی آينه و عمود بر آن تشکیل داده است که چهار برابر شیء است. جای شیء و تصویر را پیدا کنید و با

رسم شکل دقیقی روی کاغذ میلیمتری درستی محاسبات خود را بررسی کنید.

(۶) شعاع آينه مقعری ۲۰ سانتیمتر است. شيشی عمود بر محور اصلی، در فاصله ۱۵ سانتیمتری این

آينه قرار داده شده است. مطلوب است:

الف- فاصله تصویر از آينه؛

ب- بزرگنمایی آینه؛

ج- نوع تصویر.

(۷) شیشی به طول ۲ سانتیمتر در فاصله ۴۰ سانتیمتری آینه مقعری عمود بر محور اصلی آن قرار دارد. اگر فاصله کانونی آینه ۱۵ سانتیمتر باشد به کمک محاسبه و رسم، بزرگی تصویر و فاصله آن را از آینه به دست آورید.

(۸) جسمی مقابل يك آینه مقعر به شعاع ۳۰ سانتیمتر واقع است و تصویر مجازی از آن در آینه دیده می‌شود که بزرگی آن ۳ برابر بزرگی جسم است. فاصله تصویر را از آینه تعیین کنید.

(۹) شیشی به طول ۱ سانتیمتر در فاصله ۳۰ سانتیمتری آینه محدبی عمود بر محور اصلی آن قرار داده شده است. اگر شعاع آینه ۴۰ سانتیمتر باشد جای تصویر و طول آن را مشخص کنید.

(۱۰) فاصله کانونی آینه کروی محدبی f است. شععی را در چه فاصله از رأس این آینه باید قرار دهیم تا بزرگی تصویری که از آن به دست می‌آید نصف بزرگی شمع باشد؟

جواب: در فاصله f از رأس آینه

(۱۱) يك آینه کروی مقعر از شیشی که مقابل آن گذاشته شده است تصویری حقیقی می‌دهد که بزرگی آن n برابر بزرگی شیء است. فاصله این شیء را از کانون آینه بر حسب f (فاصله کانونی آینه) به دست آورید و رابطه‌ای را که به دست می‌آورید برای $n=2$ و $n=\infty$ بررسی کنید.

(۱۲) يك آینه تخت مقابل يك آینه کروی مقعر عمود بر محور اصلی آن قرار داده شده است. نقطه‌ای نورانی در فاصله بین دو آینه روی محور اصلی آینه مقعر واقع شده است و دسته پرتوهایی که از آن گسیل می‌شود پس از بازتابش متوالی از روی این دو آینه تصویر نقطه نورانی را در روی خود آن، تشکیل می‌دهد. اگر شعاع آینه مقعر ۴ متر و فاصله رأس این آینه از نقطه نورانی و تصویرش ۳ متر باشد فاصله آینه تخت را از رأس آینه مقعر حساب کنید.

جواب: ۴/۵ متر

پاسخ به پرسشهای متن

۱-۳) در روی خود پرتو تابش باز می‌تابد. زاویه‌های تابش و بازتاب هردو صفر است.

۲-۳) نوری که از خورشید بر روی زمین می‌تابد به اطراف پخش می‌شود و به اجسام درون اتاق یا به اجسام واقع در سایه می‌تابد و از روی آنها دوباره پخش می‌شود و بدین سبب است که این اجسام دیده می‌شوند.

۳-۳) لایه نقره‌ای که پشت شیشه کشیده شده است.

۴-۳) زیرا شیشه جسم شفاف است و قسمت بیشتر نور از آن می‌گذرد و جزئی از آن باز می‌تابد.

۵-۳) بلی. کافی است از هر نقطه شیء خطی بر آینه عمود کرد و آن خط را به اندازه خودش در پشت آینه امتداد داد. انتهای خط، تصویر نقطه مورد نظر است.

۶-۳) با روشی که در پاسخ ۵-۳ بیان شده است.

۷-۳) بلی. برای تعیین زاویه‌های تابش و بازتابش در هر نقطه، کافی است خط عمود بر آینه را در آن نقطه رسم کرد. این خط از مرکز آینه می‌گذرد (یعنی شعاع آینه در آن نقطه است).

۸-۳) زیرا طبق قانون بازتابش نور، زاویه تابش برابر زاویه بازتابش است و محور اصلی در این نقطه در حکم خط عمود بر آینه است.

۹-۳) بزرگی سطح آینه - نوع آینه - فاصله چشم از آینه.

۱۰-۳) در شکل ۳۰-۳ از تشابه دمثلث AOF و FPM' نتیجه می‌شود:

$$\frac{PM' = IB}{OA} = \frac{FP}{OF} = \frac{f}{p-f}$$

و از تشابه دمثلث FIB و FPM نتیجه می‌شود:

$$\frac{IB}{PM = OA} = \frac{q-f}{f}$$

از مقایسه این دو رابطه نتیجه می‌شود:

$$\frac{f}{p-f} = \frac{q-f}{f}$$

$$pq - qf - pf = 0 \quad \text{یا}$$

اگر طرفین این رابطه را بر pqf تقسیم کنیم خواهیم داشت:

$$\frac{1}{f} - \frac{1}{p} - \frac{1}{q} = 0$$

$$\boxed{\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}}$$

یا

یونانیان قدیم دربارهٔ کج شدن مسیر نور هنگامی که از هوا وارد شیشه یا آب می‌شود (و ما امروزه آن را شکست نور می‌نامیم) چیزهایی می‌دانستند.

بطلمیوس ستاره‌شناس یونانی بدون این که قانون مشخصی را بیان کند در این باره آزمایشهایی انجام داد. این دانشمند يك دسته پرتو نور باریك را با زاویه‌های مختلف به شیشه و آب تاباند و زاویه‌های شکست آن را اندازه گرفت.

الحسن دانشمند اسلامی^۱ آزمایشهای دقیق‌تری در این زمینه انجام داد و کار اندازه‌گیری را تا زاویه تابش ۸۵ درجه ادامه داد و نسبت بین زاویه‌های تابش و شکست را حساب کرد. در اوایل قرن هفدهم میلادی کپلر ستاره‌شناس آلمانی به این مسئله علاقه‌مند شد ولی نتوانست رابطه مشخصی بین زاویه‌های تابش و شکست، در این پدیده به ظاهر ساده، به دست آورد. در سال ۱۶۲۱ میلادی اسنل^۲ استاد ریاضی در یکی از دانشگاههای هلند رابطه‌ای به دست آورد که امروزه هم به نام خود او معروف است. اسنل دریافت که سینوس زاویه تابش به سینوس زاویه شکست مقدارثابتی است. در سال ۱۶۳۸ میلادی دکارت دانشمند فرانسوی جداگانه مطالبی دربارهٔ قانونهای شکست نور انتشار داد. شما هم می‌توانید براساس انتشار نور به خط راست با آزمایشهای ساده‌ای قانونهای شکست نور را به دست آورید.

پدیده شکست نور

طور مایل در آب فرو می‌بریم و به آن نگاه می‌کنیم

چوب را در محل فرو رفتن در آب شکسته می‌بینیم.

پرسش ۳-۱- اگر چوب را تا قسمتی از آن

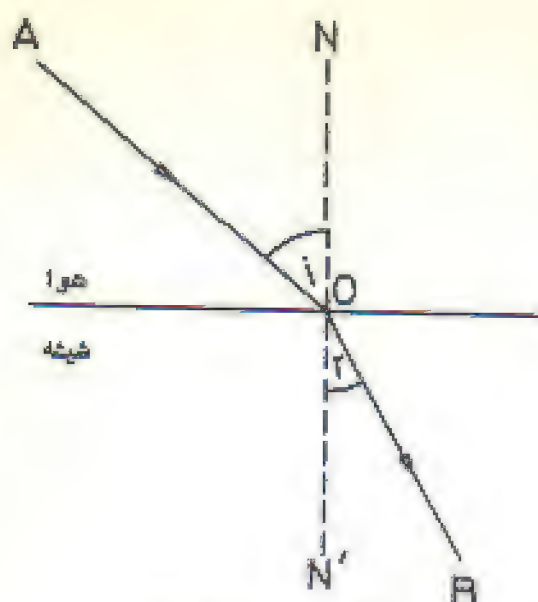
به طور قائم در آب فرو ببریم چگونه به نظر خواهد رسید؟

وقتی که به آب درون يك استخر پر از آب

نگاه می‌کنیم عمق آب را به ظاهر کمتر از آنچه هست

می‌بینیم. هنگامی که قسمتی از يك قطعه چوب را به

۱- حسن بن هاشم بقری (۹۶۵ - ۱۰۳۹ ه. ق) معروف به الحسن فیزیکدان اسلامی.
۲- Snell



شکل ۴-۱- شکست نور

AO = پرتو تابش

OB = پرتو شکست

NN' = خط عمود بر سطح مشترک دو محیط

O در نقطه تابش

$\angle i$ = زاویه تابش

$\angle r$ = زاویه شکست

در فصل تابستان وقتی که در جاده‌های گرم مسافرت می‌کنیم اغلب مواجهه با پدیدهٔ سراب می‌شویم. این پدیده‌ها و پدیده‌های دیگری مانند آنها با شکست نور ارتباط دارند.

شکست نور عبارت است از انحراف ناگهانی مسیر پرتوهای نور وقتی که به‌طور مایل از یک محیط شفاف، مانند هوا، وارد محیط شفاف دیگری مانند آب یا شیشه بشوند.

پرسش ۳-۲- اگر یک پرتو نور به‌طور عمودی بر سطح یک محیط شفاف بتابد چگونه وارد این محیط می‌شود؟

شکل ۳-۱ مسیر پرتوی را نشان می‌دهد که از هوا وارد شیشه می‌شود و در جای ورود به شیشه شکست می‌یابد. اصطلاحاتی که در مورد شکست نور به کار می‌روند کنار شکل نوشته شده است.

زاویهٔ تابش « i » زاویه‌ای است که میان پرتو تابش و خط عمود درست می‌شود و زاویهٔ شکست « r » زاویه‌ای است که بین پرتو شکست و خط عمود تشکیل می‌گردد.

به خاطر سپردن این نکته مهم است که وقتی نور از هوا یا خلأ وارد مادهٔ چگالتری مانند شیشه یا آب می‌شود طوری می‌شکند که پرتو شکست به خط عمود نزدیکتر می‌شود. به عبارت دیگر، زاویهٔ شکست از زاویهٔ تابش کوچکتر است. برعکس، هنگامی که نور از ماده‌ای چگالتز از هوا (مانند شیشه یا آب) وارد هوا می‌شود پرتو شکست از خط عمود دور می‌گردد. در نتیجه زاویهٔ شکست از زاویهٔ تابش بزرگتر است.

پرسش ۳-۳- به نظر شما علت شکست نور به هنگام ورود از یک ماده به مادهٔ دیگر چیست؟

قانونهای شکست نور

در مقدمهٔ این بخش گفتیم که رابطهٔ بین زاویه‌های تابش و شکست، ابتدا توسط اسنل کشف شد و بعد توسط دکارت جداگانه بررسی و انتشار یافت. اکنون قانونهای شکست نوری به نام قانونهای اسنل-دکارت چنین بیان می‌شوند:

قانون اول - پرتو تابش و پرتو شکست و خط عمود بر سطح جداکنندهٔ دو محیط در نقطهٔ تابش، هر سه در یک صفحه هستند.

قانون دوم - برای دو محیط شفاف معین، نسبت سینوس زاویه تابش به سینوس زاویه شکست مقداری ثابت است.

این مقدار ثابت را ضریب شکست محیط دوم (یعنی محیطی کبه پرتو شکست در آن قرار دارد) نسبت به محیط اول (یعنی محیطی که پرتو تابش در آن واقع است) می نامند و آن را به حرف «n» نمایش می دهند. بنابراین قانون دوم شکست نور به این صورت نوشته می شود:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n \quad (1-4)$$

ضریب شکست هر محیط نسبت به محیط دیگر بستگی به جنس دو محیط دارد. معمولاً ضریب شکست

محیطهای شفاف را نسبت به هوا می نمایند، در این صورت n را ضریب شکست محیط دوم یا به اختصار ضریب شکست می نامند. مثلاً وقتی که گفته می شود ضریب شکست آب ۱/۳۳ است یعنی در واقع ضریب شکست آن نسبت به هوا ۱/۳۳ است. ولی اگر محیط اول خلأ فرض شود ضریب شکست محیط دوم نسبت به خلأ ضریب شکست مطلق نامیده می شود. در جدول ۴-۱ ضریب شکست چند ماده شفاف که نسبت به هوا سنجیده شده اند تاسه رقم معنی دار داده شده است.

پرسش ۴-۴ - يك دسته پرتو موازی باریك، با زاویه تابش 45° به سطح شیشه می تابد و وارد آن می شود. اگر ضریب شکست شیشه ۱/۵۲ باشد، زاویه شکست چند درجه است؟

جدول ۴-۱ - ضریب شکست پاره های از مواد شفاف

نوع ماده	ضریب شکست (n)
هوا	۱/۰۰
آب	۱/۳۳
بنزن	۱/۵۰
سولفید کربن	۱/۶۳
کوارتز	۱/۴۶
شیشه کراون ^۱	۱/۵۲
شیشه فلینت ^۲	۱/۶۶
پلکسی گلاس ^۳ (پلی اتیلن)	۱/۵۰
الماس	۲/۴۲

۳ - plexi glass

۲ - Flint glass

۱ - Crown glass

تحقیق تجربی قانون دوم شکست نور

شکل ۴-۲ اسبابی را نشان می‌دهد که به وسیله آن به آسانی می‌توان قانون دوم شکست نور را تحقیق کرد. نور از يك شكاف باریك بروجه مسطح نیم استوانه کم ضخامتی که از شیشه یا پلی اتیلن (پلکسی گلاس) ساخته شده و روی صفحه گرد مدرجی (بر حسب درجه) نصب گردیده است می‌تابد. قسمتی از این پرتو از روی وجه مسطح نیم استوانه بازتابیده می‌شود و قسمتی دیگر وارد نیم استوانه می‌شود و در آن شکست می‌یابد. مسیر پرتوهای تابش و شکست

روی صفحه مدرج دیده می‌شود و زاویه‌های تابش و شکست به آسانی اندازه گرفته می‌شوند. می‌توان بدون تغییر دادن راستای پرتو تابش، صفحه مدرج (و در نتیجه نیم استوانه شفاف) را چرخاند و زاویه تابش را از صفر تا نزدیک 90° تغییر داد و برای هر زاویه تابش، زاویه شکست مربوط به آن را روی صفحه مدرج اندازه گرفت و تحقیق کرد که نسبت $\frac{\sin i}{\sin r}$ همواره مقدار ثابتی است. این مقدار ثابت، همان ضریب شکست ماده شفاف است که با اندازه‌گیری زاویه‌های i و r و تعیین سینوس این زاویه‌ها



شکل ۴-۲. تحقیق تجربی قانون دوم شکست نور:

$$n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{0.643}{0.431} \approx 1.5$$

$$i = 40^\circ \quad \text{زاویه تابش}$$

$$r = 25^\circ \quad \text{زاویه شکست}$$

از روی جدول سینوسها به آسانی حساب می‌شود. نسبت به هوا باشد ضریب شکست هوای نسبت به شیشه چیست؟

مفهوم فیزیکی ضریب شکست

علت شکست نور، به هنگام عبور از یک محیط به محیط دیگر، در واقع این است که سرعت نور در دو محیط مجاور هم متفاوت است.

هویگنس ضمن بررسی فرضیه موجی بودن نور، با محاسبه نشان داد که اگر V و V' به ترتیب سرعت نور در هوا و در محیط شفاف دیگر باشد بین این سرعتها

شکل ۳-۴ پرتوی را نشان می‌دهد که در راستای شعاع نیم استوانه شفاف بدون شکست وارد آن می‌شود و به هنگام خروج از نیم استوانه در روی وجه مسطح آن شکست می‌یابد و وارد هوا می‌شود به طوری که زاویه شکست بزرگتر از زاویه تابش است. مثل این است که جای پرتوهای تابش و شکست عوض شده است. به عبارت دیگر اصل بازگشت نور در مورد شکست نور نیز صادق است.

پرسش ۴-۵- اگر n ضریب شکست شیشه



شکل ۳-۴- اگر زاویه تابش، در نیم استوانه پلی‌اتیلنی، 40° باشد زاویه شکست در هوا 35° است (اصل بازگشت نور).

و زاویه‌های تابش 1 و شکست 2 این رابطه برقرار است:

$$\frac{\sin i}{V} = \frac{\sin r}{V'}$$

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{V}{V'}$$

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n$$

از طرف دیگر داشتیم

بنابراین:

ضریب شکست محیط شفاف نسبت به هوا

$$= n = \frac{V}{V'} = \frac{\text{سرعت نور در هوا}}{\text{سرعت نور در محیط شفاف}}$$

(۲-۴)

مثلاً نسبت $\frac{\text{سرعت نور در هوا}}{\text{سرعت نور در آب}}$ برابر ۱/۳۳ است که این عدد درست برابر ضریب شکست آب است.

ضریب شکست نسبی

در نظر بگیرید که نور از محیط شفاف ۱ (مثلاً آب) به ضریب شکست n_1 وارد محیط شفاف ۲ (مثلاً شیشه) به ضریب شکست n_2 بشود. ضریب شکست محیط ۲ نسبت به محیط ۱، که آن را به n_{21} نمایش می‌دهیم چنین تعریف می‌شود:

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$= \frac{\text{ضریب شکست محیط دوم نسبت به هوا}}{\text{ضریب شکست محیط اول نسبت به هوا}}$$

(۳-۴)

پرسش ۴-۶- اگر 1 و 2 به ترتیب زاویه‌های تابش و شکست در دو محیط مجاور هم n_1 و n_2

به ترتیب ضریب شکست این دو محیط باشد رابطه اسنل- دکارت در مورد شکست نور بین این دو محیط به چه صورت نوشته می‌شود؟

اگر V_1 و V_2 به ترتیب سرعت نور در دو محیط ۱ و ۲ باشد داریم $n_1 = \frac{V}{V_1}$ و $n_2 = \frac{V}{V_2}$ (سرعت نور در هواست). بنابراین:

$$n_{21} = \frac{V}{V_2} : \frac{V}{V_1} = \frac{V_1}{V_2} \quad (۴-۴)$$

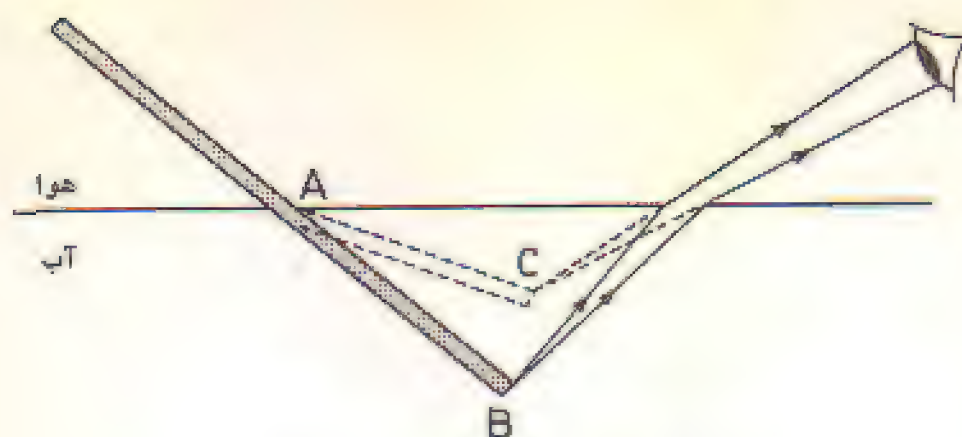
یعنی ضریب شکست نسبی محیط شفاف ۲ نسبت به محیط شفاف ۱ برابر است با خارج قسمت سرعت نور در محیط ۱ به سرعت نور در محیط ۲.

چند اثر از شکست نور

۱- علت این که چوب در آب شکسته به نظر می‌رسد در شکل ۴-۴ بیان شده است:

پرتوهایی که از نقطه B (انتهای چوب) به سوی چشم گسیل می‌شوند در سطح آب می‌شکنند و از خط عمود دور می‌شوند. به نظر می‌رسد که این پرتوها به جای نقطه B از نقطه C (محل برخورد امتداد پرتوهای شکست) به سوی چشم گسیل می‌شوند. بنابراین C تصویر B است که به علت شکست نور تشکیل می‌شود. همین استدلال در مورد نقاط دیگر قسمت AB چوب که درون آب است به کار می‌رود، در نتیجه، از این قسمت چوب تصویر مجازی AG دیده می‌شود که بالاتر از AB است.

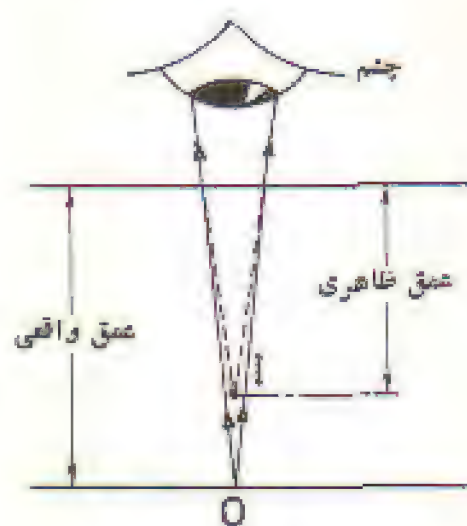
پرسش ۴-۷- هر گاه یک قطعه شیشه ضخیم تخت را روی نوشته‌های صفحه کتاب بگذاریم نوشته‌های زیر قطعه شیشه اندکی بالاتر به نظر می‌رسند. علت چیست؟



شکل ۴-۴- چوب در آب شکسته به نظر می‌رسد.

۲- عمق ظاهری و حقیقی - وقتی که در

راستای قائم به کف يك استخر پر از آب نگاه می‌کنیم عمق ظاهری استخر فقط $\frac{3}{4}$ عمق واقعی آن به نظر می‌رسد. به همین ترتیب اگر به يك قطعه شیشه ضخیم تخت از بالا در راستای قائم نگاه کنیم ضخامت ظاهری آن فقط $\frac{3}{4}$ ضخامت واقعی‌اش به نظر می‌رسد. علت این پدیده در شکل ۴-۵ توجیه شده است. پرتوهایی که از نقطه O واقع در کف استخر (یا ته شیشه) بر سطح جداکننده آب و هوا (یا شیشه و هوا) می‌تابند چون از محیط چگالت‌تر از هوا مانند آب (یا شیشه) وارد هوا می‌شوند شکست می‌یابند و از خط



شکل ۴-۵- عمق حقیقی و ظاهری.

عمود دور می‌شوند. در نتیجه پرتوهایی که وارد مردمک چشم می‌شوند امتدادشان در نقطه I که بالای نقطه O است به هم می‌رسند. بنابراین چنین به نظر می‌رسد که این پرتو‌ها از نقطه I که تصویر مجازی O است به طرف چشم گسیل می‌شوند. در شکل ۴-۵، برای تجسم موضوع، قطر مردمک چشم بزرگتر از میزان واقعی نشان داده شده است. در واقع قطر مردمک چشم به اندازه‌ای است که فقط پرتوهای خیلی نزدیک به خط عمود وارد آن می‌شوند.

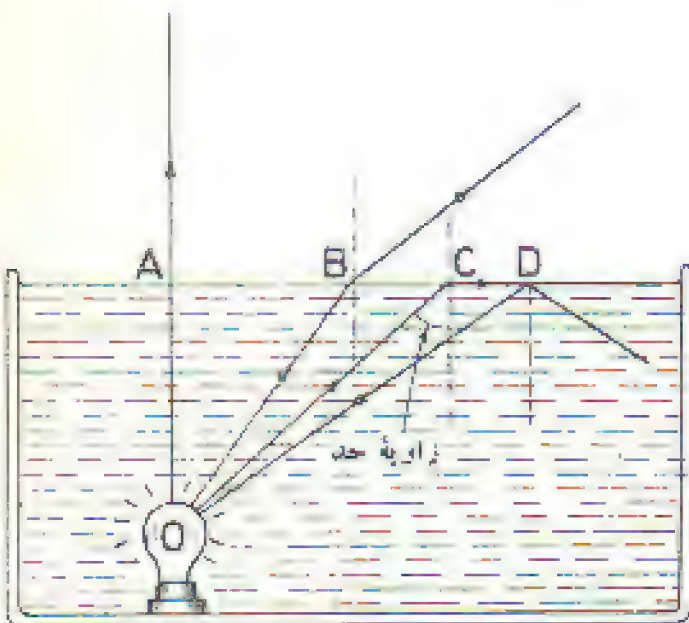
رابطه ضریب شکست با عمق ظاهری و حقیقی -

در شکل ۴-۶ چگونه می‌توان رابطه ضریب شکست با عمقهای حقیقی و ظاهری نشان داده شده است. در نظر داشته باشید که چشم ناظر روی خط عمود OA قرار دارد و پرتو OBC به خط عمود خیلی نزدیک است به طوری که وارد چشم ناظر می‌شود. ولی در شکل، انحراف این پرتو از خط عمود مبالغه آمیز است. چنین به نظر می‌رسد که پرتو خروجی BC از نقطه I، تصویر مجازی نقطه O، گسیل می‌شود. در نتیجه می‌توان گفت که AI نمایش عمق ظاهری است. با توجه به اصل بازگشت نور ضریب شکست محیط چگالت‌تر (آب یا شیشه) نسبت به هوا برابر

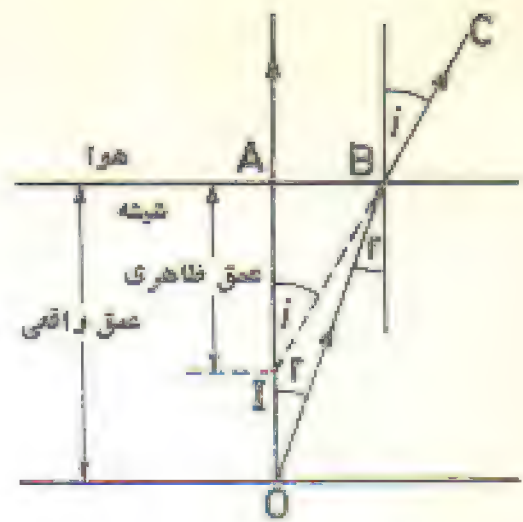
پرتو ۳-۸ به نظر شما زاویه حد به چه عواملی می تواند بستگی داشته باشد؟

بدیهی است اگر پرتوی با زاویه بزرگتر از زاویه حد به سطح جدا کننده دو محیط بتابد دیگر نمی تواند از این سطح بگذرد و وارد محیط رقیق تر بشود بلکه از روی آن به درون محیط چگالتر باز می تابد. این پدیده را بازتابش کلی نامیده اند. در شکل ۳-۷ پرتوهایی نشان داده شده است که از درون آب وارد هوا می شوند.

پرتو OA عمود بر سطح آب می تابد و بدون شکست وارد هوا می شود. پرتو OB با زاویه تابشی کمتر از زاویه حد به سطح آب تابیده است و در نتیجه از سطح آب گذشته وارد هوا شده است. پرتو OC با زاویه حد به سطح آب تابیده و مماس بر سطح آب خارج شده است. پرتو OD با زاویه تابشی بزرگتر از زاویه حد به سطح آب تابیده و بازتابش کلی یافته است.



شکل ۳-۷ پرتوی که با زاویه تابشی کوچکتر از زاویه حد به سطح آب تابیده وارد هوا شده است. پرتوی که با زاویه تابشی بزرگتر از زاویه حد به سطح آب تابیده بازتابش کلی یافته است.



شکل ۳-۶

است با:

$$n = \frac{\sin i}{\sin r}$$

ولی برطبق شکل:

$$\angle AOB = r \text{ و } \angle AIB = i$$

بنابراین:

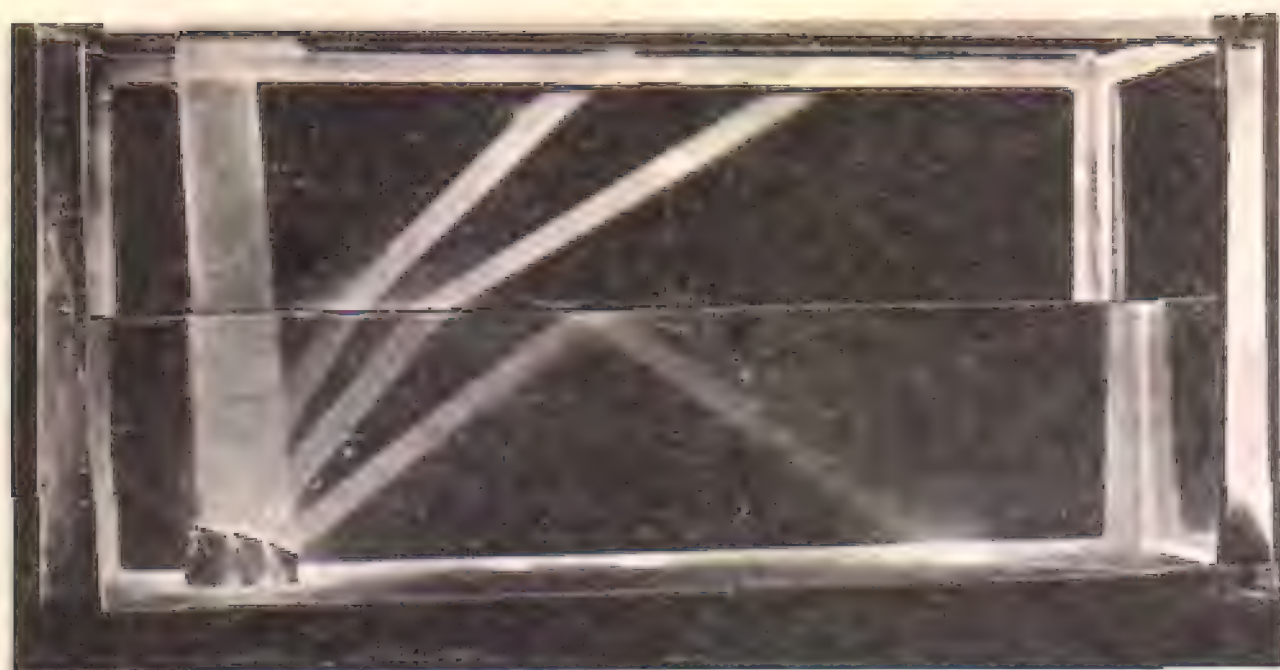
$$n = \frac{\sin \angle AIB}{\sin \angle AOB}$$

$$= \frac{AB}{BI} \div \frac{AB}{BO} = \frac{BO}{BI} \approx \frac{AO}{AI}$$

زیرا B خیلی به A نزدیک است. در نتیجه:

$$n = \frac{\text{عمق حقیقی}}{\text{عمق ظاهری}} \quad (۳-۵)$$

۳- بازتابش کلی زاویه حد- دانستید هنگامی که پرتوهای نور از یک محیط چگالتر که ضریب شکست بزرگتری دارد به محیط رقیق تری وارد می شوند از خط عمود دور می شوند، در نتیجه زاویه شکست از زاویه تابش بزرگتر است. بنابراین وقتی که زاویه شکست به ۹۰ درجه برسد، زاویه تابش به حد معینی می رسد که آن را زاویه حد گویند.



شکل ۴-۸ بازتابش کلی از روی سطح آب.

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n_{r,i} = \frac{n_r}{n_i}$$

اگر پرتو نور با زاویه حد (که آن را به C نمایش می‌دهیم) به سطح جدا کننده دو محیط بتابد زاویه شکست 90° درجه خواهد بود. بنابراین:

$$\frac{\sin C}{\sin 90^\circ} = \frac{n_r}{n_i}$$

چون $\sin 90^\circ = 1$ است پس:

$$\sin C = \frac{n_r}{n_i} \quad (4-6)$$

در صورتی که محیط دوم هوا باشد یعنی نور از یک محیط شفاف که ضریب شکست آن نسبت به هوا n است وارد هوا بشود $n_i = n$ و $n_r = 1$ است و

$$\sin C = \frac{1}{n} \quad (4-7)$$

مثلاً وقتی که نور از آب وارد هوا می‌شود

شکل ۴-۸ یک منظره حقیقی از بازتابش کلی یک دسته پرتو را از روی سطح آب نشان می‌دهد. دسته پرتوهایی که زاویه تابش آنها از زاویه حد کوچکتر است از سطح آب گذشته و وارد هوا شده‌اند. پرتو ۴-۹ در یک آینه تخت که شیشه آن خیلی ضخیم است و پشت آن نقره اندود می‌باشد از یک شیء یک تصویر اصلی روشن و چند تصویر کم‌رنگ دیده می‌شود. آیا می‌توانید علت را توضیح دهید؟

رابطه زاویه حد با ضریب شکست - زاویه حد را می‌توان از رابطه اسنل- دکارت حساب کرد. در نظر بگیریم که نور از محیط چگالتر ۱ به ضریب شکست n_1 وارد محیط رقیق‌تر ۲ به ضریب شکست n_2 می‌شود و زاویه‌های تابش و شکست به ترتیب i و r است. ضریب شکست نسبی محیط ۲ نسبت به محیط ۱ چنان که دیدیم برابر است با:

$$n_{2,1} = \frac{n_2}{n_1}$$

بنابراین رابطه اسنل- دکارت:

۴- بازتابش کلی در منشورها - الف - در

پریسکوپهای ویژه زیردریاییها برای این که فقط يك تصوير روشن و بی عیب از اجسام روی آب به دست آید به جای آینه تخت، ازدومشور (ازجنس شیشه کراون) که قاعده آنها به شکل مثلث قائم الزاویه متساوی الساقین است استفاده می کنند (شکل ۴-۱۵).

در بخش ۳ یاد آور شدیم که پریسکوپ زیردریایی عملاً از ترکیب يك دور بین (تلسکوپ) و يك پریسکوپ ساخته شده است ولی در شکل (۴-۱۵) فقط مسیر پرتوها به طور ساده در پریسکوپ نمایش داده شده است. در این شکل دو پرتو موازی نشان داده شده است که در راستای عمود بر سطح AB منشور بالایی بدون شکست از هوا وارد منشور می شوند و با زاویه 45° بر سطح AC می تابند. چون زاویه حد در اینجا 42° است این پرتوها از روی سطح AC بازتابش کلی حاصل می کنند و در راستای قائم به طرف پایین گسیل می شوند و به طور عمودی بر سطح B'C' منشور



شکل ۴-۱۵- طرز استفاده ازدومشور بر اساس بازتابش کلی در پریسکوپ.



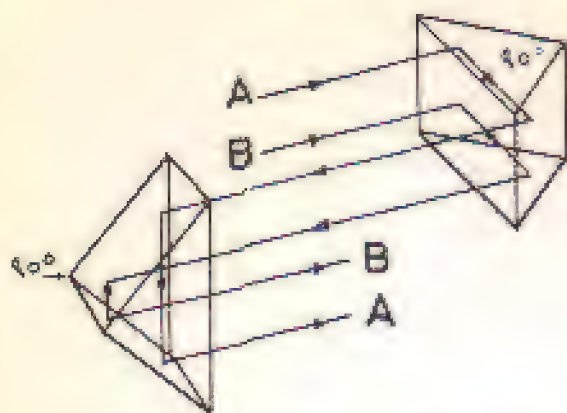
شکل ۴-۱۶- منظر نور

داریم:

$$\sin C = \frac{1}{1.33} \approx 0.75$$

و با مراجعه به جدول سینوسها: $C \approx 49^\circ$ به دست می آید.

زاویه حد وقتی نور از شیشه کراون به ضریب شکست 1.52 وارد هوا بشود تقریباً 42° است. با توجه به محاسبه زاویه حد، می توان بر اساس بازتابش کلی، پرتوهای نور را در راستای جهش فواره ها یا درون میله های شیشه ای و پلی اتیلنی که به شکلهای مختلف ساخته می شوند گسیل داشت. فواره رنگی و گل نور برای این خاصیت ساخته می شوند. شکل ۴-۱۶ يك گل نور را که به شکل يك دسته افشان از میله های خمیای باریك پلی اتیلنی (پلکسی گلاس) ساخته شده است نشان می دهد.

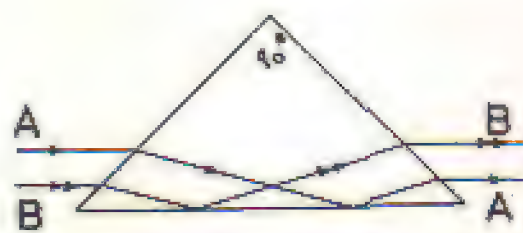


شکل ۴-۱۲- استفاده از دو منشور با بازتابش کلی در دوربینهای دوچشمی.

دوم تابیده بدون شکست وارد آن می‌شوند و به همین ترتیب از روی سطح $A'O'$ بازتابش کلی حاصل می‌کنند و از این منشور در راستای افقی وارد هوا می‌شوند.

ب- در بخش ۶ خواهیم دید برای این که به وسیله پروژکتور از يك شیء یا از يك فیلم تصویر مستقیمی روی يك پرده به دست آید باید شیء یا فیلم به طور واژگون در پشت عدسی پروژکتور قرارداده شود ولی در بعضی از موارد این کار ممکن نیست. مثلاً گاهی لازم می‌شود که در مرحله آموزش، تصویر يك باتری شیشه‌ای كوچك را كه به شكل مكعب مستطیل بساریك ساخته می‌شود برای نشان دادن طرز کار باتری روی پرده انداخت ولی به علت وجود مایع در باتری نمی‌توان آن را وارونه قرارداد. در این گونه موارد برای به دست آوردن تصویر مستقیم کافی است يك منشور مستقیم کننده جلو عدسی دستگاه پروژکتور قرارداده شود.

شکل ۴-۱۱ نشان می‌دهد که چگونه از يك منشور که قاعده آن مثلث قائم الزاویه است برای این منظور استفاده می‌شود: پرتوها تقریباً به طور موازی با وجهی که رو به روی زاویه 90° است وارد منشور می‌شوند و پس از بازتابش کلی از روی این وجه، به طور وارونه ولی موازی با امتداد تابش اولیه از منشور وارد هوا می‌گردند.



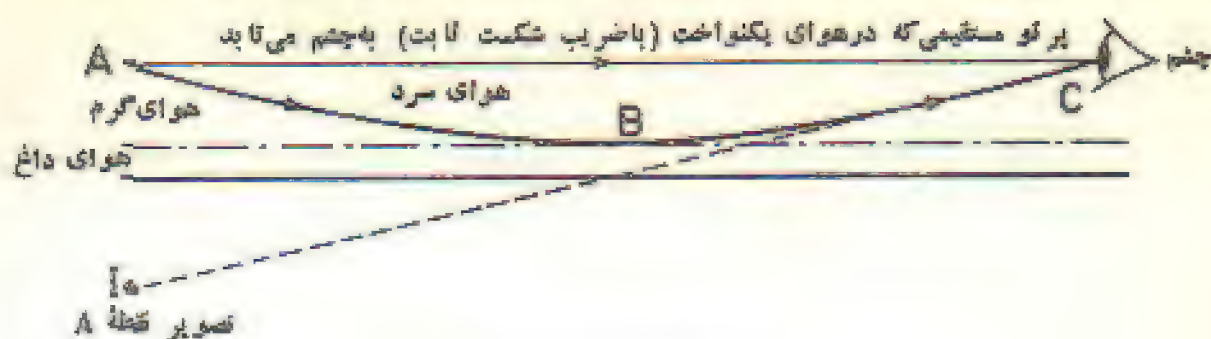
شکل ۴-۱۱- بازتابش کلی در منشور.

ج- در شکل ۴-۱۲ يك جفت منشور نشان داده شده است که قاعده آنها مثلث قائم الزاویه متساوی الساقین است. دو پرتو موازی در راستای عمود بر وجه مقابل به زاویه قائمه وارد منشورها شده و پس از دوبار بازتابش کلی موازی با راستای تابش اولیه از آنها خارج شده‌اند ولی امتداد این دو پرتو واژگون گردیده است. از این خاصیت برای مستقیم کردن تصویر در دوربینهای دوچشمی استفاده می‌شود.

۵- **سراب** - پدیده سراب معمولاً در بیابانها هنگامی که هوا خیلی گرم است اتفاق می‌افتد: در بیابانها مسافران در روزهای گرم تابستان در فاصله نسبتاً نزدیک به خود مناظری مانند دریاچه‌های كوچك آب می‌بینند که واقعیت ندارد و ناشی از خطای دیدن است.

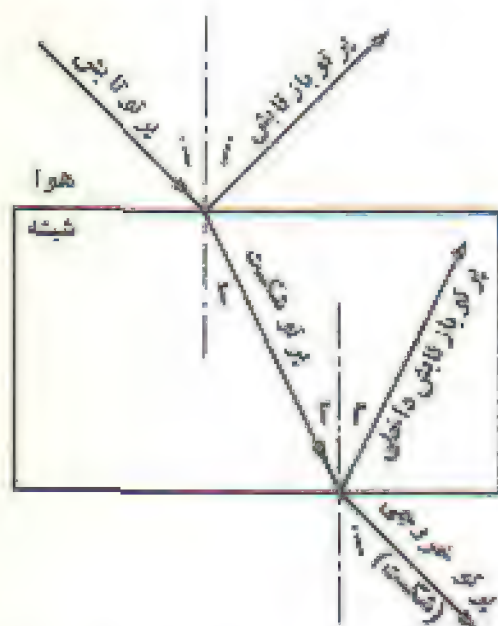
پدیده سراب نه تنها در بیابانهای داغ دیده می‌شود بلکه اغلب در جاده‌های آسفalte هم در روزهای گرم تابستان سطح جاده در فاصله نسبتاً نزدیک مانند منظره بعد از باران، درخشانده و پوشیده از آب به نظر می‌رسد. علت تشکیل سراب را می‌توان چنین توجیه کرد:

نور آسمان که، به طور خیلی مایل، از لایه‌های



شکل ۴-۱۳- تشکیل سراب

پرسش ۴-۱۵- اگر طرف دیگر تیغه به جای هوا، محیط شفاف دیگری مانند آب باشد آیا پرتو خروجی بازهم موازی پرتو تابش است؟
در شکل ۴-۱۵ يك منظره واقعی از انحراف نور در تیغه شیشه‌ای نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۴- مسیر نور در يك تیغه شیشه‌ای تخت.

شکل ۴-۱۵- منظره‌ای از انحراف نور در تیغه شیشه‌ای تخت.



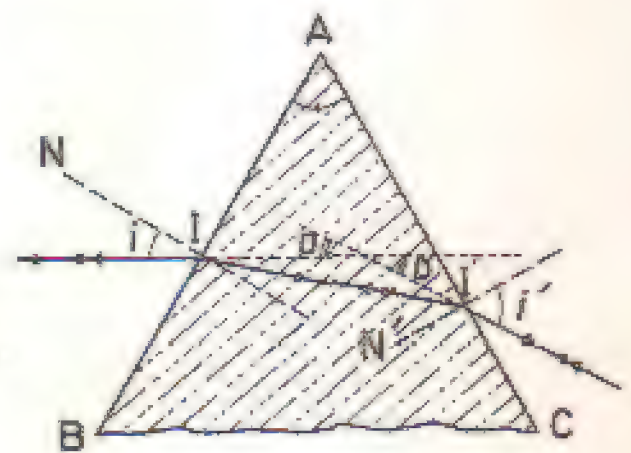
سرد هوا وارد لایه‌هایی که به سبب نزدیکی با سطح داغ زمین به تدریج گرم‌تر و در نتیجه رقیق‌تر شده‌اند می‌شود، مرتباً به طرف بالا شکست می‌یابد و زاویه شکست به تدریج بزرگ‌تر می‌شود تا این که روی یکی از این لایه‌های هوا زاویه تابش به زاویه حد برسد یا از آن بزرگ‌تر بشود و بازتابش کلی صورت گیرد (شکل ۴-۱۳). پرتوهایی که بدین‌سان بازتابش می‌یابند چون به چشم برسند تصویر آسمان در این لایه به صورت منظره‌ای از آب در سطح زمین دیده می‌شود. زیرا چشم عادت دارد که تصویر آسمان را در آب ببیند.

۶- انحراف نور در تیغه شیشه‌ای تخت -

شکل ۴-۱۴ مسیر يك پرتو را که به طور مایل بر سطح يك تیغه شیشه‌ای تخت (که آن را تیغه متوازی-السطوح نیز می‌نامند) تابیده است نشان می‌دهد. قسمتی از این پرتو از روی سطح تیغه باز می‌تابد و قسمتی دیگر وارد تیغه می‌شود و شکست می‌یابد و همین عمل در سطح دیگر تیغه به هنگام خروج پرتو صورت می‌گیرد. در صورتی که هر دو طرف تیغه هوا باشد زاویه‌ای که پرتو خروجی با خط عمود می‌سازد برابر زاویه تابش است. بنابراین در تیغه متوازی-السطوح، زاویه تابش هر چه باشد پرتو خروجی همواره موازی با پرتو تابش است.

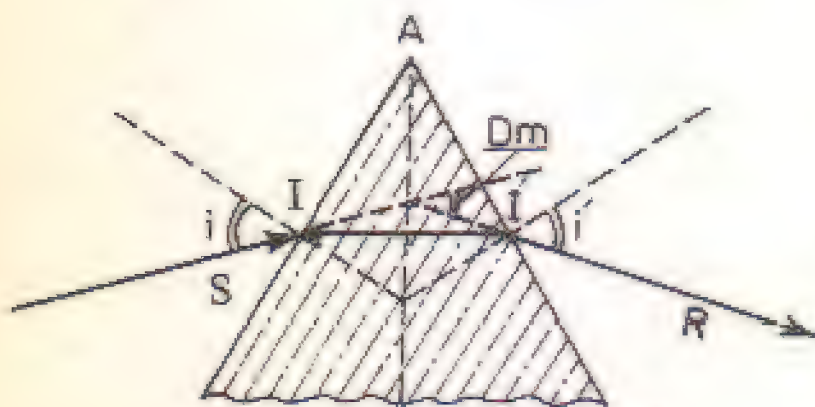
۷- انحراف نور در منشور - اگر منشور شیشه‌ای یا پلی‌اتیلنی که قاعده آن به شکل مثلث است در مسیر يك دسته پرتو «تك رنگ» گذارده شود این دسته پرتو به طرف قسمت ضخیم منشور منحرف می‌شود (بر خلاف تیغه متوازی السطوح که در آن پرتو خروجی موازی با راستای پرتو تابش قدری جابه‌جا می‌شود).

شکل ۴-۱۶ مسیر يك پرتو تك رنگ را که از يك بدنه منشور وارد آن شده و از بدنه دیگر آن خارج شده است نشان می‌دهد. در اینجا به این سبب از پرتو «تك رنگ» نام برده‌ایم که منشور نور سفید



شکل ۴-۱۶- مسیر نور در منشور

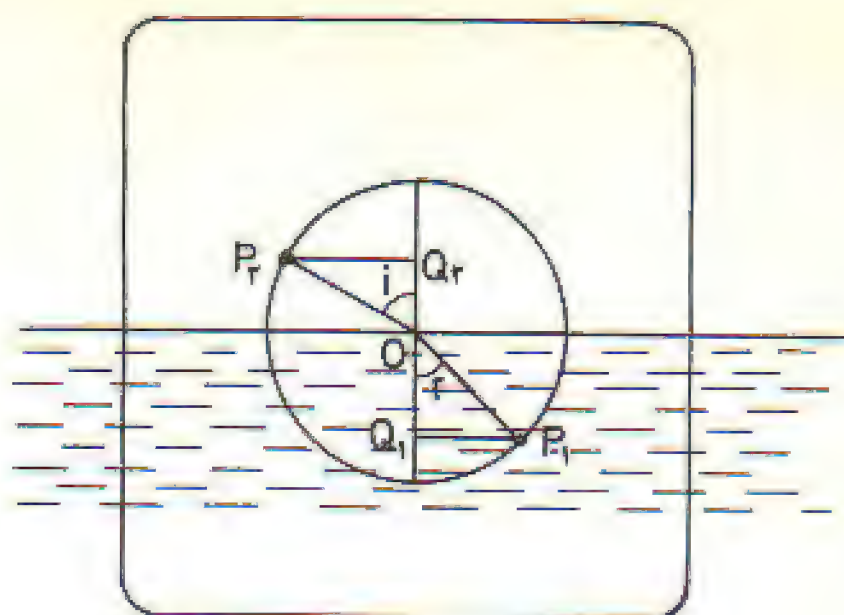
را علاوه بر انحراف به هفت رنگ تجزیه می‌کند و شما تجزیه نور در منشور را در بخش ۷ خواهید دید. زاویه بین پرتو تابش و پرتو خروجی را زاویه انحراف گویند. این زاویه، که در شکل به D نمایش داده شده است بستگی به زاویه تابش و ضریب شکست منشور و زاویه بین دو بدنه‌ای که نور از آنها وارد و خارج می‌شود (یعنی زاویه A) دارد. زاویه انحراف در يك منشور در صورتی کمترین اندازه خود را دارد که زاویه تابش (یعنی زاویه بین پرتو تابش و خط عمود) برابر زاویه خروجی (یعنی زاویه بین شعاع خروجی و خط عمود) باشد (شکل ۴-۱۷).



شکل ۴-۱۷- در صورتی که زاویه‌های i و i' با هم برابر باشند زاویه انحراف عینیم است.

خودتان آزمایش کنید

۱) قانون اسنل - دانات را تحقیق کنید - روی يك صفحه تخته با مداد پررنگ دایره‌ای به شعاع در حدود ۱۵ سانتیمتر رسم کنید و دو قطر عمود برهم آن را بکشید. سپس دو سنجاق را یکی در نقطه O، محل برخورد دو قطر، و دیگری در نقطه P، واقع در قسمت پایینی محیط دایره روی تخته نصب کنید و آن را به طور قائم در آب فروبرید بدان‌سان که قطر افقی دایره و سوزنی که در نقطه O نصب کرده‌اید درست مماس بر سطح آب قرار گیرند و تخته را در همین وضع نگه دارید. برای آسانی کار می‌توانید تخته را در



شکل ۴-۱۸- تحقیق تجربی قانون شکست نور

ظرف مناسبی به طور قائم قرار دهید و در ظرف آن قدر آب بریزید تا سطح آب مقابل قطرافقی دایره برسد. سپس از بالای تخته به درون آب نگاه کنید به طوری که دو سوزن P_1 و O را درست روی یک راستای هم منطبق ببینید و در این حال سوزن سوم P_2 را روی قسمت بالایی محیط دایره به تخته فرو برید تا سه سوزن P_1 و O و P_2 را روی یک راستا برهم منطبق ببینید. تخته را از آب بیرون آورید و جای سوزن‌ها را روی آن نشان کنید و آنها را از روی تخته بردارید. اگر نقاط P_1 و P_2 را با دو خط به نقطه O وصل کنید (شکل ۴-۱۸) OP_1 و P_2O ، بنا به اصل بازگشت نور در حکم پرتوهای تابش و شکست خواهند بود. زاویه‌های i و r را با قاعده اندازه بگیرید و سینوس آنها را از روی جدول سینوسها به دست آورید و جدول ۴-۲ را تنظیم کنید و ضریب شکست n را به دست آورید.

جدول ۴-۲

i	r	$\sin i$	$\sin r$	$n = \frac{\sin i}{\sin r}$

جای سوزن P_2 را تغییر دهید و آزمایش را تکرار کنید و نتیجه بگیرید n مقدار ثابتی است که بستگی

به اندازه‌های i و r ندارد.

یاد آوری - اگر از نقاط P_1 و P_2 دو عمود P_1Q_1 و P_2Q_2 را بر قطر دایره رسم کنید خواهید داشت:

$$\sin r = \frac{P_1Q_1}{OP_1} \quad \text{و} \quad \sin i = \frac{P_2Q_2}{OP_2}$$

یا:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{P_2Q_2}{OP_2} \div \frac{P_1Q_1}{OP_1} = \frac{P_2Q_2}{P_1Q_1} = n$$

زیرا OP_1 و OP_2 هر دو شعاع دایره هستند.

بنابراین به جای آن که زاویه های i و r را اندازه بگیرید و سینوس آنها را از جدول سینوسها پیدا

کنید می توانید P_1Q_1 و P_2Q_2 را به دقت اندازه بگیرید و نسبت $n = \frac{P_2Q_2}{P_1Q_1}$ را حساب کنید.

آزمایش را برای مایعات دیگری که در اختیار دارید تکرار کنید و ضریب شکست آنها را تعیین نمایید.

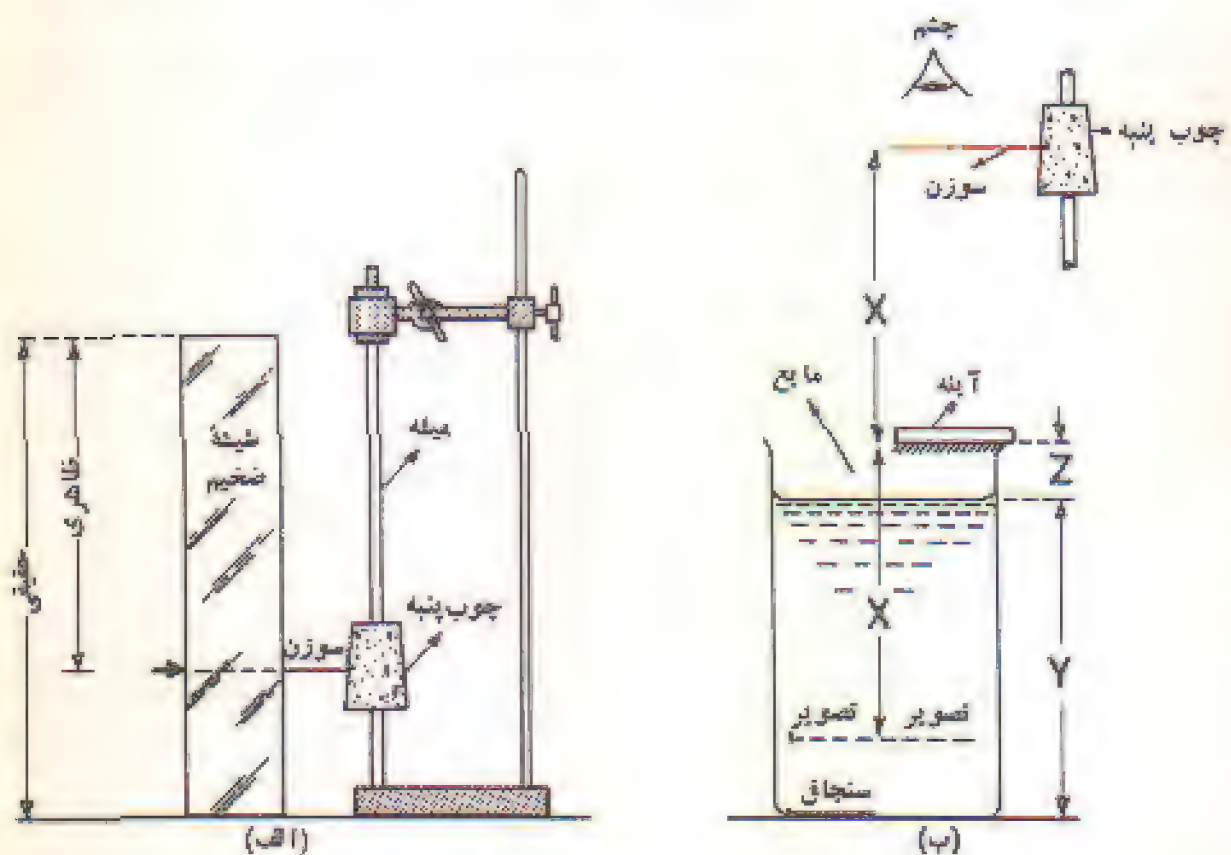
۲) با اندازه گیری عمقهای ظاهری و حقیقی ضریب شکست را اندازه بگیرید - الف - در شیشه - تیغه

شیشه ای ضخیمی را به طور قائم روی خطی که بر صفحه کاغذی کشیده اید و آن را روی سطح افقی گسترده اید بگذارید. سنجاقی را روی چوب پنبه ای که می توانید آن را به راحتی روی میله قائمی بالا و

پایین ببرید فرو کنید. میله چوب پنبه دار را کنار تیغه شیشه ای به پایهای نصب کنید و آن را طوری تنظیم

کنید که انتهای سنجاق تماس بر تیغه و راستای سنجاق موازی با خطی که روی کاغذ کشیده اید باشد (شکل

۴-۱۹- الف) و آن قدر چوب پنبه را روی میله پایین و بالا ببرید تا سنجاق را درست منطبق بر تصویر خط



شکل ۴-۱۹- اندازه گیری ضریب شکست به روش تعیین عمق ظاهری.

الف) در شیشه

ب) در مایع

در تیغه ببینید سپس عمقهای ظاهری و حقیقی را طبق آنچه در شکل نشان داده شده است اندازه بگیرید و از رابطه $n = \frac{\text{عمق حقیقی}}{\text{عمق ظاهری}}$ ضریب شکست n را حساب کنید.

ب- در آب یا مایع دیگر- این آزمایش را نیز مانند آزمایش الف انجام دهید با این تفاوت که به جای تیغه شیشه‌ای ظرف مناسبی (مانند يك بشر) را که در آن آب یا مایع دیگر ریخته‌اید بگذارید و به جای خط روی کاغذ هم سوزن سنجاقی را توی ظرف درته آن بگذارید و سنجاق روی چوب پنبه را طوری تنظیم کنید که موازی با سنجاق ته ظرف مایع باشد. برای این که آزمایش دقیق‌تر انجام شود بهترین است که طبق شکل (۴-۱۹-ب) آینه تخت کوچکی را روی لبه ظرف مایع قرار دهید و چوب پنبه سنجاق‌دار را بالای آینه ببرید و آن قدر آن را روی میله جا به جا کنید تا هنگامی که در راستای قائم به‌درون آب و آینه نگاه می‌کنید تصویر سنجاق بالای را در آینه درست مطابق بر تصویر سنجاقی که در ته ظرف مایع است ببینید. با توجه به این که فاصله تصویر از آینه تخت برابر فاصله شی* از آینه است ضریب شکست مایع را طبق شکل از رابطه زیر حساب کنید:

$$n = \frac{\text{عمق حقیقی}}{\text{عمق ظاهری}} = \frac{y}{x-z}$$

ارتفاع مایع را در ظرف تغییر دهید و آزمایش را چند بار تکرار کنید و هر بار n را حساب کنید و میانگین آنها را به دست آورید. بدین ترتیب برای n مقدار دقیق‌تری به دست خواهید آورد.

به این پرسشها پاسخ دهید

۱) شکست نور چیست؟ هرگاه نور به‌طور مایل از هوا یا خلأ وارد ماده شفاف دیگری بشود چگونه شکست می‌یابد؟ اگر در این حالت زاویه تابش از صفر تا نزدیک 90° تغییر کند زاویه شکست چگونه تغییر خواهد کرد؟

۲) قانونهای شکست نور را بیان کنید. چگونه می‌توان از رابطه اسنل - دکارت ضریب شکست يك ماده شفاف را تعیین کرد؟

۳) منظور از جمله «ضریب شکست شیشه ۱/۵ است» چیست؟ آزمایشی را شرح دهید که با آن بتوان ضریب شکست شیشه را تعیین کرد.

۴) چرا وقتی که قسمتی از يك چوب را در آب به‌طور مایل فرو می‌برید شکسته به نظر می‌رسد؟ درباره جواب خود با رسم شکلی دقیق توضیح دهید.

۵) بازتاب کلی و زاویه حد چیست؟ چه رابطه‌ای بین زاویه حد و ضریب شکست نسبی دو محیط برقرار است؟ توضیح دهید.

۶) با رسم شکل نشان دهید که چگونه می‌توان به وسیله منشور شیشه‌ای که قاعده آن مثلث قائم‌الزاویه متساوی‌الساقین است مسیر يك دسته پرتو نور موازی را 90° درجه یا 180° درجه تغییر داد.

۷) يك لامپ روشن كوچك در ته مخزن نگهداری مایه (آکواریوم) پراز آب قرار دارد. شكلی رسم كنید كه:

الف- مسیر يك پرتو نور را كه از لامپ عمود بر سطح آب می تابد نشان دهد.
ب- مسیر پرتوی را كه با زاویه كوچكتر از زاویه حد به سطح آب می تابد نشان دهد.
ج- مسیر پرتوی را كه با زاویه بزرگتر از زاویه حد به سطح آب می تابد نشان دهد.
۸) در نظر بگیرید كه يك پرتو نور از هوا با زاویه 45° به سطح آب داخل ظرفی می تابد و وارد آب می شود. اگر در كف ظرف كه افقی است يك آینه تخت باشد پرتو نور پس از برخورد به آینه چه می شود؟ اگر آینه عمود بر مسیر پرتو شكست در آب قرار داده شود مسیر پرتو چه خواهد شد؟ در هر دو حال بارسم شكل، مسیر پرتوها را نشان دهید.

۹) با در دست داشتن ضریب شكست يك ماده شفاف نسبت به هوا چگونه می توان سرعت نور را در این ماده حساب كرد؟

۱۰) با رسم شكل نشان دهید كه اگر به شیشی از پشت يك شیشه تخت نگاه كنید در جای اصلی خود دیده نمی شود.

۱۱) با رسم شكل توضیح دهید كه چرا نور فقط وقتی كه از يك ماده شفاف با ضریب شكست بزرگتر وارد محیط شفاف با ضریب شكست كوچكتری می شود می تواند بازتابش كلی حاصل كند.

۱۲) زاویه حد برای شیشه كراون 42° و برای الماس 24° است. توضیح دهید چرا يك قطعه الماس از يك قطعه شیشه كراون (كه هر دو به يك شكل ساخته شده باشند) درخشانتر است.

۱۳) دو ظرف یکی از آب ($n=1.33$) و دیگری از سولفید كرین ($n=1.63$) تا ارتفاع مساوی پر شده اند. سكه ای را در ته هر يك از دو ظرف می گذاریم اگر از بالای هر يك از این دو ظرف در راستای عمودی به سكه نگاه كنیم در كدام ظرف سكه را به چشم خود نزدیکتر می بینیم. درباره جواب خود با رسم شكل توضیح دهید.

۱۴) با توجه به این كه نور ستارگان از خلاء وارد جو زمین می شوند آیا ستارگان به ویژه آنها كه به سطح افقی نزدیکترند در جای حقیقی خود دیده می شوند؟ درباره جواب خود با رسم يك شكل تقریبی توضیح دهید.

۱۵) شخصی كه در ته آب استخری شنا می كند چراغی را كه كنار لبه استخر به پایدی آویزان است بالاتر از جای واقعی آن می بیند. علت را با رسم شكل توضیح دهید.

۱۶) در فصل تابستان وقتی كه مسافرت می كنیم اغلب در جاده های آسفاته به نظرم می رسد كه قسمتهایی از جاده را آب پوشانیده است. علت چیست؟ چگونه می توان این پدیده را توجیه كرد؟

۱۷) میله ای در لبه يك استخر نصب شده است و آب استخر صاف و آرام است. اگر در لبه دیگر استخر بایستیم و در آب نگاه كنیم تصویر میله را در آب:

الف- برابر طول میله خواهیم دید.

ب- بزرگتر از طول میله خواهیم دید.

ج- کوچکتر از طول میله خواهیم دید.

د- بسته به وضع چشم بزرگتر یا کوچکتر از طول میله خواهیم دید.

دربارۀ جواب درست توضیح دهید.

۱۸) دوتیغه شیشه‌ای تخت به ضریب شکستهای $n_1 = 1/5$ و $n_2 = 2$ روی هم قرار دارند. پرتوی

نورانی با زاویه 45° به تیغه اولی (n_1) می‌تابد. این پرتو:

الف- از تیغه دوم با زاویه خروجی 45° وارد هوا می‌شود.

ب- با زاویه خروجی کوچکتر از 45° وارد هوا می‌شود.

ج- با زاویه خروجی بزرگتر از 45° وارد هوا می‌شود.

د- روی سطح مشترک دوتیغه بازتابش کلی حاصل می‌کند.

دربارۀ جواب درست توضیح دهید.

این مسئله‌ها را حل کنید

۱) يك دسته پرتو نور موازی با زاویه تابش 50° از هوا وارد آب ($n = 1/33$) می‌شود. زاویه

شکست این پرتو را در آب با ۲ رقم معنی‌دار حساب کنید.

۲) يك پرتو نور به ترتیب با زاویه‌های 50° ، 30° ، 45° و 60° روی سطح تیغه‌ای از جنس

پلی‌اتیلن به ضریب شکست $n = 1/50$ می‌تابانیم. در هر يك از این حالتها زاویه شکست و سینوس زاویه-

های تابش و شکست را حساب و در جدولی مانند جدول زیر تنظیم کنید.

i	r	$\sin i$	$\sin r$	

سپس نموداری رسم کنید که محور افقی آن نمایش زاویه‌های تابش و محور عمود بر آن نمایش زاویه-

های شکست باشد. آیا زاویه‌های شکست مستقیماً متناسب با زاویه‌های تابش هستند؟ نمودار دیگری رسم

کنید که روی محور افقی آن اندازه‌های سینوس زاویه‌های تابش و روی محور عمود بر آن اندازه‌های سینوس

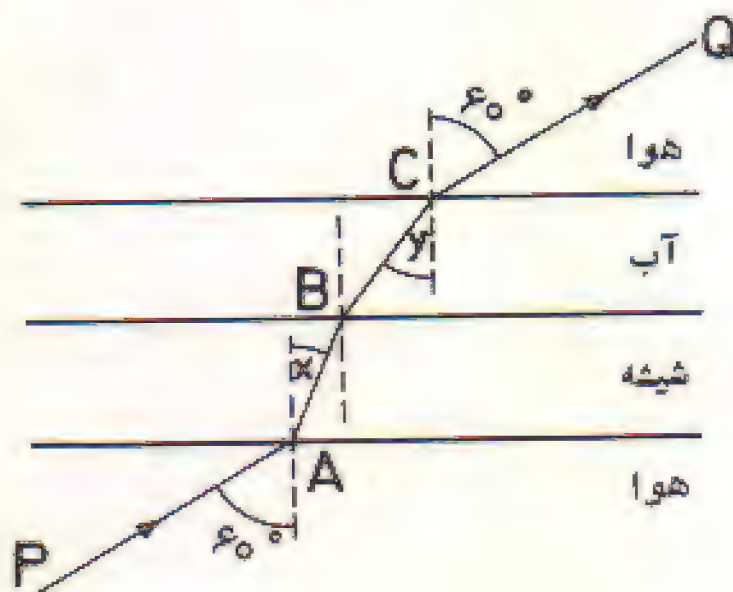
زاویه شکست برده شوند. این نمودار را با نمودار اول مقایسه کنید و نظر خود را بنویسید.

۳) يك پرتو نور ترك رنگ با زاویه 30° روی سطح تیغه‌ای از جنس کوارتز تابیده و با زاویه شکست

20° وارد این تیغه شده است. ضریب شکست کوارتز برای این پرتو چه اندازه بوده است؟

۴) يك دسته پرتو نور موازی از درون آب ($n = 1/33$) با زاویه تابش 30° به سطح آب تابیده وارد هوا می‌شود. زاویه شکست آن در هوا تا دورقم معنی‌دار چند درجه است؟ حساب کنید که زاویه تابش به چند درجه باید برسد تا بازتابش کلی شروع شود؟

۵) در شکل ۴-۲۰ پرتو PQ به ترتیب از هوا وارد شیشه و آب شده دوباره وارد هوا می‌شود. زاویه‌های تابش و خروجی هر دو 60° و ضریب شکستهای شیشه و آب به ترتیب $\frac{4}{3}$ و $\frac{3}{2}$ است. الف- اندازه زاویه‌های x و y را تا دورقم معنی‌دار حساب کنید. ب- ضریب شکست نسبی برای وقتی که نور از شیشه وارد آب می‌شود چه اندازه است؟



شکل ۴-۲۰

۶) اگر سرعت نور در هوا $3/0 \times 10^8$ متر بر ثانیه فرض شود سرعت آن در شیشه فلینت ($n = 1/66$) و در سولفید کربن ($n = 1/63$) چیست؟ چنانچه سرعت نور در يك ماده پلاستیکی $2/0 \times 10^8$ متر بر ثانیه باشد ضریب شکست این ماده تا سه رقم معنی‌دار چه اندازه است؟

۷) سکه‌ای در ته ظرف مایعی که ضریب شکست آن $\frac{4}{3}$ است قرار دارد و عمق حقیقی مایع در ظرف ۲۰ سانتیمتر است. سنجاقی را بالای ظرف به‌طور افقی نگه می‌داریم و در راستای قائم از بالای سنجاق در مایع نگاه می‌کنیم و آن قدر سنجاق را موازی با امتداد خود جا به جا می‌کنیم تا تصویری که از این سنجاق در اثر بازتابش نور از سطح مایع حاصل می‌شود درست منطبق بر تصویر سکه در مایع شود. در این حالت فاصله سنجاق از سطح مایع چه اندازه است؟

۸) سطح قاعده يك منشور شیشه‌ای به شکل مثلث قائم‌الزاویه ABC است که در آن زاویه A برابر 30° و زاویه C برابر 60° درجه است. يك پرتو نورانی عمود بوجه AB به این منشور می‌تابد و از وجه AC خارج می‌شود. اگر ضریب شکست آن $n = 1/5$ باشد مسیر پرتو را در این منشور به دقت رسم کنید.

۹) اگر زاویه‌های شکست داخلی را در منشور به r و r' نمایش دهیم با توجه به شکل (۴-۱۶) ثابت کنید.
الف - بین زاویه رأس منشور (A) و زاویه‌های r و r' رابطه زیر برقرار است :

$$A = r + r'$$

ب- بین زاویه انحراف D و زاویه‌های تابش و خروجی i و i' و زاویه‌های r و r' رابطه زیر برقرار است :

$$D = (i + i') - (r + r') = (i + i') - A$$

۱۰) اگر منشور در وضعی قرار داده شود که زاویه انحراف، یعنی زاویه بین پرتو تابش و پرتو

خروجی مینیمم باشد. با استفاده از روابط $D = i + i' - A$ و $A = r + r'$ و $n = \frac{\sin i}{\sin r}$ و بکار

گرفتن شرایط مینیمم انحراف ثابت کنید ضریب شکست منشور برابر است با :

$$n = \frac{\sin\left(\frac{D_m + A}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}$$

D_m زاویه مینیمم انحراف است.

پاسخ به پرسشهای متن

۴-۱) بدون آن که شکسته به نظر برسد کوتاهتر از آنچه هست به نظر می‌رسد (مسیر پرتوها را مانند شکل ۴-۵ رسم کنید)

۴-۲) بدون شکست در همان راستایی که تابیده است وارد محیط شفاف می‌شود.

از رابطه $\frac{\sin i}{\sin r} = n$ یا $\sin i = n \sin r$ نیز همین نتیجه گرفته می‌شود. زیرا وقتی که $i = 0$ باشد چون $n \neq 0$ است بنابراین $r = 0$ خواهد بود.

۴-۳) تغییر سرعت نور وقتی که از یک ماده شفاف وارد ماده شفاف دیگر می‌شود.

$$۴-۴) \text{ داریم } \frac{\sin 45^\circ}{\sin r} = 1.52 \text{ یا } \frac{\sin 45^\circ}{1.52} \approx 0.465 = \frac{\sin 28^\circ}{1.52} \Rightarrow \sin r = \frac{\sin 28^\circ}{1.52} = 0.465$$

و با مراجعه به جدول مینوسها : $r \approx 28^\circ$

۴-۵) بنا به اصل بازگشت نور ضریب شکست هوا نسبت به شیشه $\frac{1}{n}$ است.

۴-۶) اگر نور از محیط ۱ به ضریب شکست n_1 وارد محیط ۲ به ضریب شکست n_2 بشود ضریب

شکست محیط دوم نسبت به محیط اول برابر است با $\frac{n_2}{n_1}$. بنابراین : $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1}$

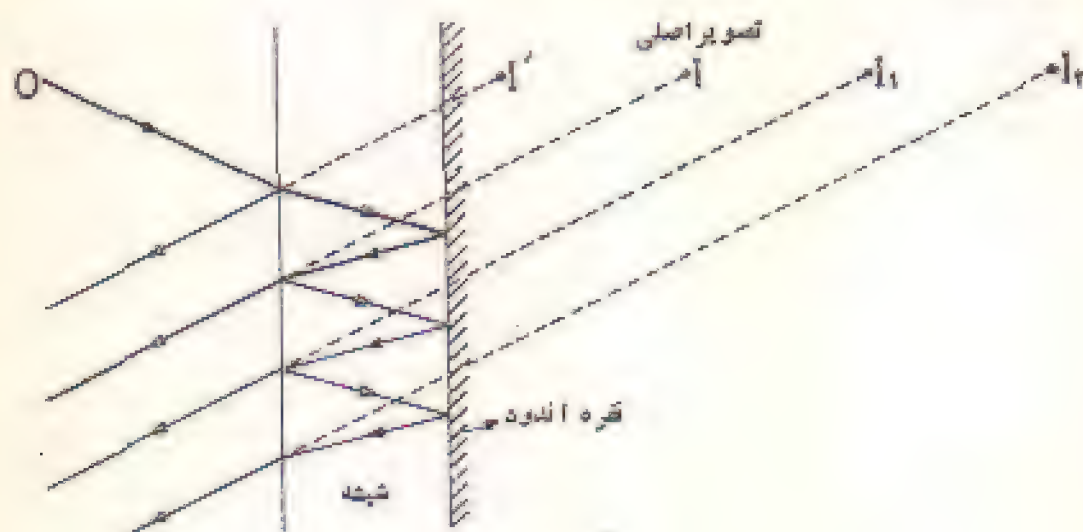
$n_1 \sin i = n_2 \sin r$

یا

۷-۴) علت، دوز شدن نور از خط عمود به هنگام خروج از تیغه است که در شکل‌های ۴-۵ و ۴-۶ نمایش داده شده است.

۸-۴) به ضریب شکست‌های دو محیطی که مجاور یکدیگر قرار دارند.

۹-۴) علت بازتاب‌های متوالی است که طبق شکل ۴-۱۰ به ترتیب روی سطح نقره اندود و سطح شیشه صورت می‌گیرد.



شکل ۴-۱۰

۱۰-۴) نه! زیرا وقتی که نور از هوا وارد تیغه به ضریب شکست n می‌شود داریم $\sin i = n \sin r$ و هنگامی که از تیغه وارد محیط شفاف دیگری به ضریب شکست n' می‌شود داریم $n \sin r = n' \sin r'$. از مقایسه این دو رابطه نتیجه می‌شود: $\sin i = n' \sin r'$ و چون $n > 1$ است پس $r' < i$ است. در نتیجه پرتوی که از تیغه خارج می‌شود نمی‌تواند موازی با پرتو تابش باشد.

ذره بین با عدسی از قرن‌ها پیش توسط یونانیها و مسلمانان شناخته شده و به کار رفته است.

امروزه هم انواع مختلف عدسیها در زندگی ما نقش مؤثر و مهمی دارند. میلیونها انسان برای این که راحت‌تر بخوانند یا راحت‌تر اشیا را ببینند از عینک استفاده می‌کنند. اگر دستگاههای عکاسی، فیلمبرداری، پروژکتور، میکروسکوپ، دوربین و..... که در همه آنها عدسی به کار می‌رود وجود نداشتند زندگی کنونی ما شکل دیگری داشت.

هلالی، همگرا، کوز - تخت، دو کوز



عدسیهای همگرا

هلالی، واگرا، کوز - تخت، دو کوز



عدسیهای واگرا

شکل ۵-۱- انواع متداول عدسیها.

همه عدسیها را نمی‌توان به عنوان ذره بین به کار برد. زیرا بعضی از آنها که مثلاً مورد استفاده اشخاص نزدیک بین قرار می‌گیرند، همواره از اجسام تصویروهای مجازی و مستقیمی می‌دهند که کوچکترند. این گونه عدسیها را مقعر یا واگرا نامیده‌اند، در صورتی که، ذره بینها را عدسی محدب یا همگرا می‌نامند. تشخیص عدسیهای واگرا از همگرا آسان است: عدسیهای واگرا لبه کلفت و میان نازکی دارند در صورتی که لبه عدسیهای همگرا نازکتر از میان آنهاست. در شکل ۵-۱ بعضی از انواع عدسیها که کاربرد بیشتر دارند نمایش داده شده است.

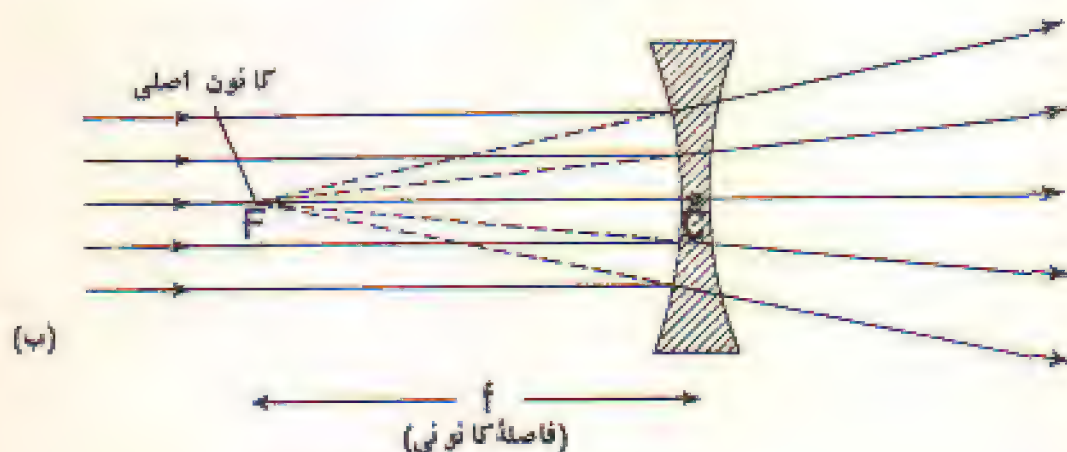
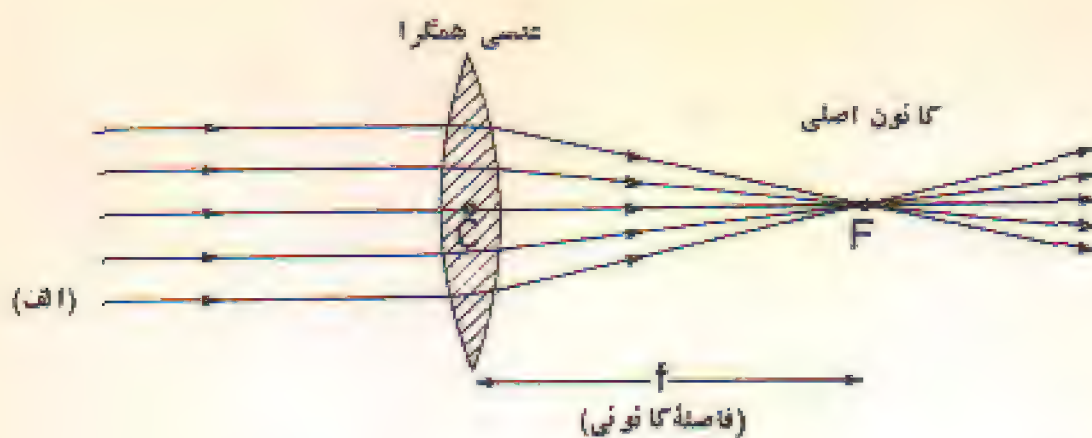
اصطلاحات

این پرتوها پس از گذشتن از عدسی در یک نقطه واقع بر محور اصلی عدسی به هم می‌رسند. این نقطه را کانون اصلی عدسی می‌نامند و آن را به «F» نمایش می‌دهند (شکل ۵-۲-الف). در عدسیهای واگرا پرتوهای موازی با محور اصلی پس از گذشتن از عدسی از هم دور می‌شوند ولی امتداد آنها در طرف دیگر عدسی در یک نقطه به هم می‌رسند. این نقطه باز هم روی محور اصلی قرار دارد و کانون اصلی عدسی واگراست (شکل ۵-۲-ب).

عدسی ماده: معمولاً یک قطعه شیشه یا ماده شفاف دیگری است که به دو سطح کروی محدود شده باشد.

محور اصلی عدسی: خطی است که مرکزهای انحناي دو سطح کروی دو طرف عدسی را به هم وصل می‌کند.

کانون اصلی عدسی: اگر یک دسته پرتو نور موازی با محور اصلی به یک عدسی همگرا بتابد همه



شکل ۵-۳- کانون اصلی
الف- در عدسی همگرا ب- در عدسی واگرا

مقایسه عدسی با منشور

در بخش ۲ گفتیم که یک پرتو نور وقتی از یک منشور شیشه‌ای می‌گذرد از راستای خود منحرف و به سمت ضخیم منشور نزدیک می‌شود. در اینجا نیز می‌توانیم هر عدسی همگرا یا واگرا را مرکب از تعداد زیادی منشور بدانیم که زاویه‌های آنها وقتی که از میان عدسی به سوی لبه آن می‌رویم به تدریج افزایش می‌یابند. بنابراین هر چه به لبه عدسی نزدیکتر می‌شویم انحراف پرتوهای نور بیشتر می‌شود. این مطلب روشن می‌سازد که چگونه پرتوهای موازی با محور اصلی پس از گذشتن از یک عدسی همگرا در کانون آن که حقیقی است به هم می‌رسند یا پس از عبور از یک عدسی واگرا از هم دور می‌شوند و به

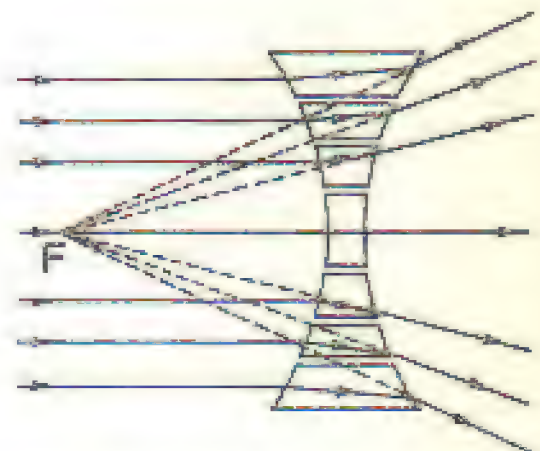
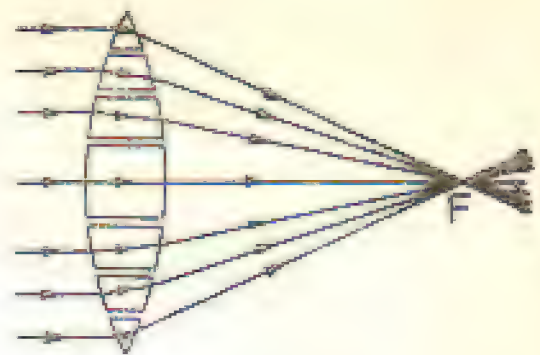
بنابراین: کانون عدسیهای همگرا حقیقی و

کانون عدسیهای واگرا مجازی است.

ضمن بحث درباره آینه کروی (بخش ۳) گفتیم فقط پرتوهایی که موازی با محور اصلی آینه و خیلی نزدیک به آن بر سطح آینه می‌تابند پس از بازتاب، نقطه واقعی کانون اصلی را تشکیل می‌دهند. این واقعیت درباره عدسیها نیز صدق می‌کند. بنابراین: کانون اصلی در عدسی نقطه‌ای است واقع بر محور اصلی عدسی به طوری که پرتوهای موازی با محور اصلی و نزدیک به آن، پس از گذشتن از عدسی، در آن نقطه به هم می‌رسند، یا این که، به نظر می‌رسد از آن نقطه گسیل می‌شوند و پس از گذشتن از عدسی از هم دور می‌گردند.

خواهند شد.

نقطه میانی عدسی را که در واقع محل گذر محور اصلی عدسی است مرکز اپتیکی عدسی گویند. فاصله بین مرکز اپتیکی و کانون اصلی عدسی فاصله کانونی نام دارد و به حرف f نمایش داده می شود (به شکل ۳-۵ مراجعه شود).



شکل ۳-۵. مقایسه عدسی با منشور

هر عدسی دارای دو کانون اصلی است. چون برخلاف آینه ها می توان نور را از دو طرف به عدسی تاباند، بنابراین، هر عدسی دارای دو کانون اصلی است که از مرکز اپتیکی به یک فاصله اند. این کانونها را چنان که متداول است به F و F' نمایش می دهیم.

پرسش ۳-۱- اگر شعاعهای انحنای دو وجه عدسی برابر نباشند، مثلاً اگر یک طرف عدسی تخت باشد آیا باز هم دو کانون از مرکز اپتیکی به یک فاصله اند؟

در عدسیهای ساده مرکزهای انحنای دو وجه عدسی نقش مهمی ندارند و به جای آنها نقاط F و F' در نظر گرفته می شوند و به طوری که از علامتهای اختصاری آنها پیداست، F و F' نقاطی هستند که فاصله آنها از مرکز اپتیکی عدسی دو برابر فاصله کانونی است.

تعیین جای تصویر به کمک رسم پرتوها

الف- در عدسیهای همگرا- در این عدسیها برای تعیین جای تصویر به وسیله رسم هندسی، سه دسته پرتو را که مسیر آنها در عدسی کاملاً مشخص است به کار می بریم:

نظر می رسد از کانون این عدسی که مجازی است گسیل می شوند (شکل ۳-۵).

مرکز اپتیکی^۱ عدسی- فاصله کانونی

قسمت میانی هر عدسی را می توان در حکم یک تیغه متوازی السطوح کوچک دانست. زیرا پرتوهایی که به این قسمت از عدسی می تابند به جای این که منحرف شوند، اندکی جابه جا شده به موازات راستای اولیه خود از عدسی خارج می شوند. اگر عدسی نازک باشد اندازه این جابه جایی ناچیز است. بنابراین در شکلهایی که از این پس برای نشان دادن جای تصویر در عدسیهای ساده رسم می شوند، پرتوهایی که از نقطه میانی عدسی می گذرند بدون شکست نشان داده

۱- پرتوهای موازی با محور اصلی که پس از عبور از عدسی وشکست در آن از کانون اصلی می-گذرند؛

۲- پرتوهایی که از کانون اصلی می گذرند و پس از عبور از عدسی وشکست در آن موازی با محور اصلی از عدسی خارج می شوند (بنا به اصل بازگشت نور)؛

۳- پرتوهایی که از مرکز اپتیکی عدسی می-گذرند و بدون شکست محسوس از آن خارج می شوند. از این سه دسته پرتو، فقط دوتای آنها برای تعیین جای تصویر کافی است.

در شکلهای ۴-۵ تا ۹-۵ تصویر يك شی که در جاهای مختلف روی محور اصلی عدسی همگرا قرار گرفته نمایش داده شده است. در این شکلها، شی با پیکان OA و تصویر آن با پیکان IB هر دو عمود بر محور اصلی مشخص گردیده است.

در شکل ۴-۵، عدسی مانند ذره بین به کار رفته است. در این حالت شی در فاصله کانونی عدسی است و تصویر آن مستقیم، مجازی و بزرگتر و در همان طرفی که شی قرار دارد دیده می شود.

شکل ۵-۶ حالتی را نشان می دهد که می توان از يك عدسی همگرا در دستگاه پروژکتور برای انداختن تصویر حقیقی از يك فیلم بر روی پرده استفاده کرد. در این حالت تصویر معکوس است و برای این که بر روی پرده مستقیم دیده شود باید خود فیلم وارونه در پروژکتور قرار داده شود.

پرسش ۵-۷- شکل ۸-۵ حالتی را نشان می-دهد که تصویر حاصل از شی به وسیله عدسی، حقیقی و وارونه و کوچکتر از آن است. در چه اسبابی از عدسی در این حالت استفاده می شود؟

پرسش ۵-۸- عدسیهای همگرا به ویژه آنها که سطح بزرگتر و میان ضخیم تری دارند نمی توانند به تنهایی از اجسام تصویرهای کاملاً واضحی بدهند بلکه اطراف تصویرهای حاصل از آنها کج و تار و رنگی به نظر می رسد. آیا می توانید علت را بیان کنید؟ به نظر شما چگونه می توان این عیب را برطرف کرد؟

ب- در عدسیهای واگرا - عدسیهای واگرا، برخلاف عدسیهای همگرا (که می توانند هم تصویر حقیقی و هم تصویر مجازی بدهند) از يك شی واقعی هر جا که باشد همواره تصویر مجازی می دهند که نسبت به آن مستقیم، کوچکتر و بین عدسی و کانون واقع است (شکل ۵-۱۰).

پرسش ۵-۹- اگر شی را به موازات امتداد خود از فاصله خیلی دور تا کانون يك عدسی واگرا جا به جا کنیم تصویر آن در عدسی در چه فاصله ای جا به جا می شود؟

حل مسائل مربوط به عدسیها به روش

ترسیم

در این روش قسمتی از مسیر پرتوها را که در خود عدسی است نادیده می گیریم و عدسی را به يك خط راست عمود بر محور اصلی نمایش می دهیم. بدیهی است در صورتی که عدسی نازک باشد می توانیم این کار را بکنیم.

مثال - ششی به طول ۱۰ میلی متر عمود بر محور اصلی عدسی همگرایی که فاصله کانونی آن ۱۰ میلی متر است قرار گرفته و فاصله آن از عدسی ۱۷ میلی متر است. می خواهیم جای، بزرگی و نوع تصویر را به روش ترسیم تعیین کنیم.

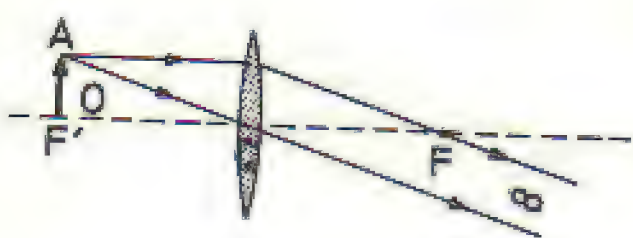
برای این منظور از کاغذ میلیتری یا شطرنجی



شکل ۵-۴ جسم بین کانون F' و عکسی

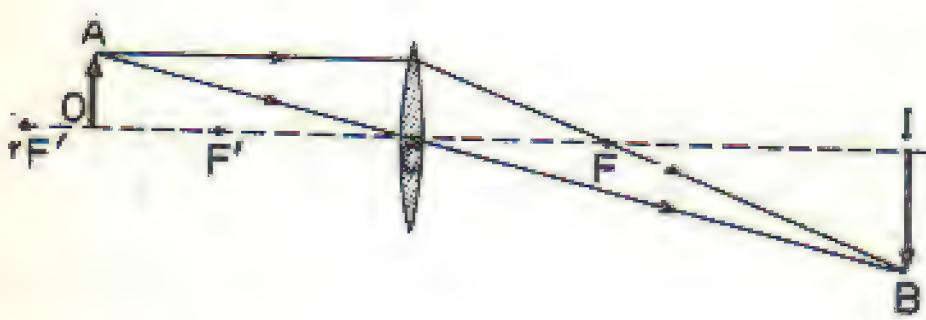
تصویر:

- ۱- در همان طرف شیء مجازی
- ۲- مستقیم
- ۳- بزرگتر از شیء



شکل ۵-۵ جسم روی کانون F' تصویر واضحی

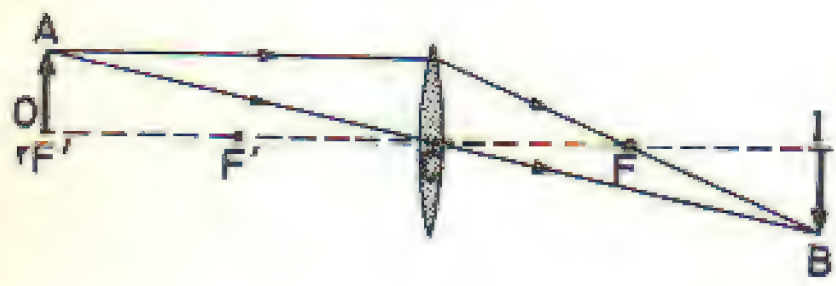
به دست نمی آید ولی چون پرتوهای خروجی موازی هستند می گوئیم تصویر در بی نهایت تشکیل می شود.



شکل ۵-۶ جسم بین F' و $2F'$

تصویر:

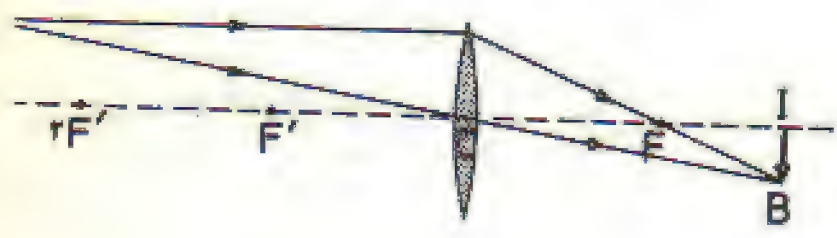
- ۱- دورتر از $2F$ حقیقی
- ۲- وارونه
- ۳- بزرگتر از شیء



شکل ۵-۷ جسم در $2F'$

تصویر:

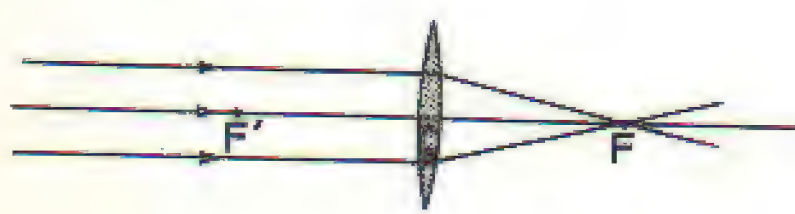
- ۱- در $2F$ حقیقی
- ۲- وارونه
- ۳- به اندازه خود شیء



شکل ۵-۸ جسم دورتر از $2F'$

تصویر:

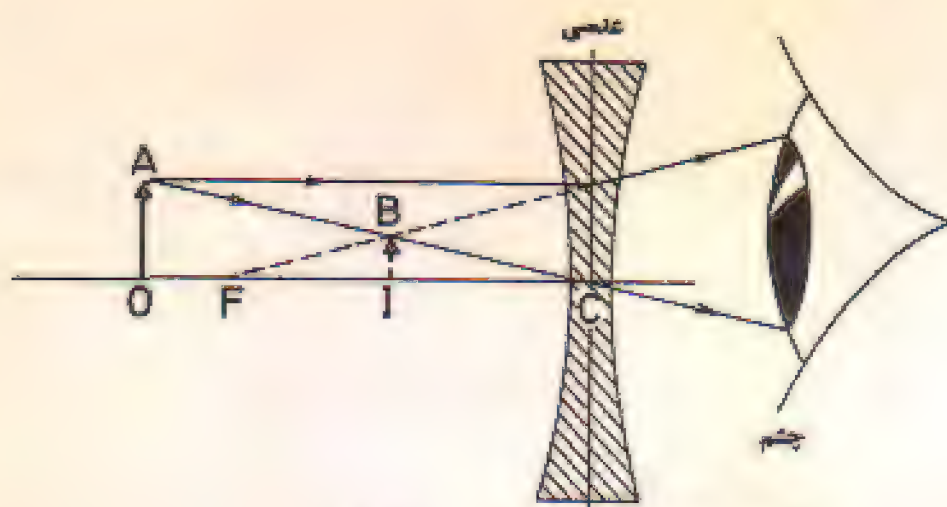
- ۱- بین F و $2F$ حقیقی
- ۲- وارونه
- ۳- کوچکتر از شیء



شکل ۵-۹ شیء در بی نهایت

تصویر:

- ۱- در F حقیقی
- ۲- وارونه
- ۳- کوچکتر از شیء

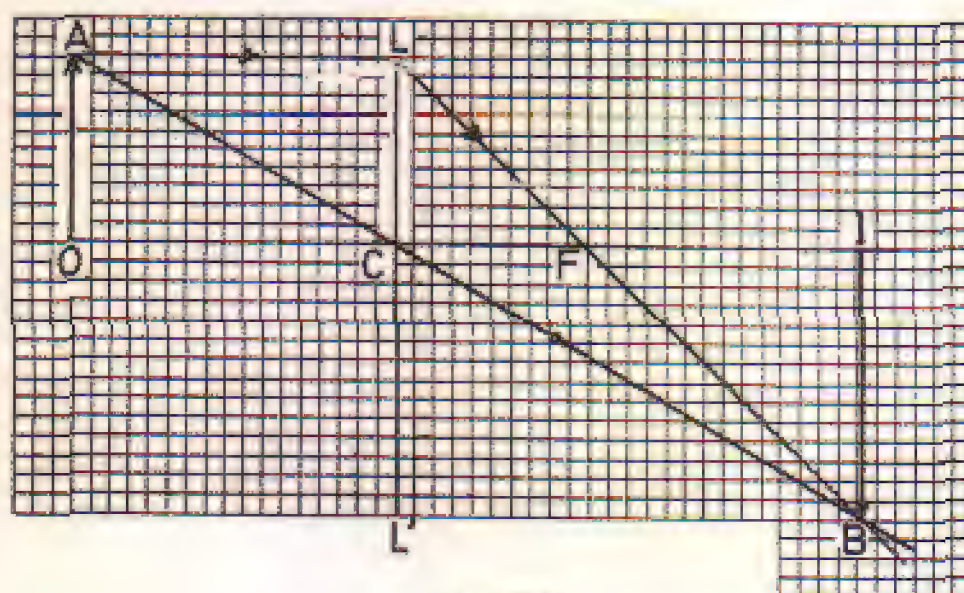


شکل ۵-۱۰- طرز تشکیل در عدسی و آنرا

استفاده می‌کنیم و طول هر ضلع مربع روی کاغذ را به عنوان واحد طول (در اینجا یک میلی‌متر) به کار می‌بریم.

خط افقی OCL نمایش محور اصلی و خط LCL' که عمود بر آن است نمایش عدسی است (شکل ۵-۱۱). شیء OA به طول ۱۰ برابر واحد انتخابی و

۱- پرتو ACB که از مرکز اپتیکی عدسی بدون شکست گذشته است؛
۲- پرتو ALI که موازی محور اصلی عدسی



شکل ۵-۱۱

نتیجه‌ها

- تصویر IB
۱- در فاصله ۳۳ میلی‌متری عدسی است
۲- به طول ۱۴ mm است
۳- معکوس است
۴- حقیقی است

داده‌ها

- عدسی محدب LCL'
فاصله کانونی ۱۰ mm
شیء OA به طول ۱۰ mm
و به فاصله ۱۰ mm از عدسی

رسم شده و پس از خروج از عدسی از کانون F گذشته است.

نقطه B محل برخورد این دو پرتو، تصویر نقطه A و خط IB که عمود بر محور اصلی است تصویر شی' OA خواهد بود.

به طوری که در شکل دیده می شود این تصویر حقیقی و وارونه و در فاصله تقریبی ۲۴ میلیمتری (۲۴ برابر واحد) عدسی واقع است و طول آن تقریباً ۱۴ میلیمتر (۱۴ برابر واحد) است. در اینجا نیز مانند آینه کروی می توانیم بی آن که مسیر پرتوها را رسم کنیم جای و بزرگی تصویر را با محاسبه به دست آوریم. اگر فاصله شی' را از عدسی به p ($OC = p$)، فاصله تصویر را از عدسی به q ($CI = q$) و فاصله کانونی عدسی را به f ($CF' = CF = f$) نمایش دهیم با استفاده از تشابه مثلثها (مثلاً در شکل ۵-۱۱) ثابت می شود که بین p و q و f این رابطه برقرار است:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad (۵-۱)$$

در صورتی که فاصله شی' از عدسی (p) و فاصله کانونی عدسی (f) مشخص باشند فاصله تصویر از عدسی از این رابطه به آسانی حساب می شود. پرسش ۵-۵ چگونه می توانید از تشابه مثلثها در شکل ۵-۱۱ این رابطه را به دست آورید؟

بزرگنمایی

بزرگنمایی خطی در عدسی، مانند آینه های کروی، عبارت است از نسبت بلندی تصویر به بلندی شی' یعنی:

$$\frac{IB}{OA} = \frac{\text{بلندی تصویر}}{\text{بلندی شی}} = \text{بزرگنمایی خطی در عدسی}$$

در آینه های کروی دیدیم که بزرگنمایی بستگی به فاصله های شی' و تصویر از آینه دارد. در عدسیها هم بهتر این است که بستگی بزرگنمایی را با فاصله شی' و تصویر از عدسی پیدا کنیم:

مثلاً از تشابه دو مثلث COA و CIB در دو شکل ۵-۶ و ۵-۱۰ نتیجه می شود:

$$\frac{IB}{OA} = \frac{IC}{OC} = \frac{q}{p}$$

بنابراین:

بزرگنمایی خطی عدسی

$$(۵-۲) \quad \frac{\text{فاصله تصویر از عدسی}}{\text{فاصله شی' از عدسی}} = \frac{q}{p}$$

به کمک رابطه ۵-۱ جای تصویر نسبت به عدسی و به کمک رابطه ۵-۲ طول تصویر معین می شود. چون این رابطه ها برای عدسیهای همگرا و واگرا، هم در مورد تصویر حقیقی و هم در مورد تصویر مجازی به کار می روند باید برای اندازه های p و q و f بنا به قرارداد علامتهای جبری در نظر بگیریم به طوری که بتوانیم این رابطه ها را در هر مورد به کار ببریم. برای این منظور یکی از دو قرارداد زیر را که در مورد آینه های کروی در بخش ۳ به کار بردیم می توانیم درباره عدسیها هم به کار ببریم.

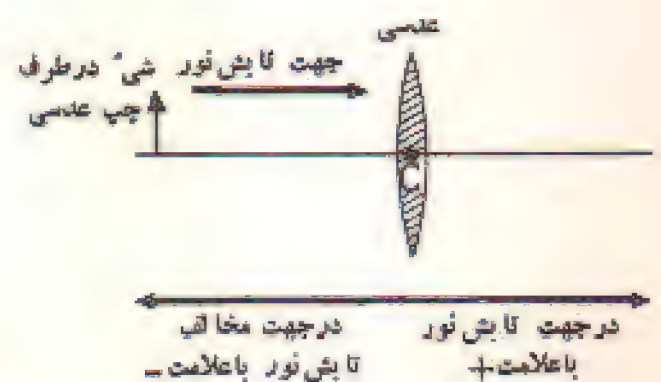
الف- قرارداد جهت تابش نور مثبت است. در این قرارداد:

۱- فرمول به صورت $-\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$ نوشته می شود؛

۲- تمام فاصله‌ها از مرکز اپتیکی عدسی سنجیده می‌شوند؛

۳- فاصله‌ها در جهت تابش نور با علامت مثبت و در جهت مخالف تابش نور با علامت منفی منظور می‌شوند. اگر شیء همواره در طرف چپ عدسی گذارده شود کاربرد این قرارداد آسانتر است. زیرا می‌توانیم علامتهای جبری متداول را که روی محورهای مختصات در نظر گرفته می‌شوند به کار ببریم (شکل ۵-۱۲).

بنابراین همه فاصله‌ها در طرف چپ عدسی با علامت منفی و در طرف راست آن با علامت مثبت



شکل ۵-۱۲- کاربرد قرارداد جهت تابش نور مثبت است درباره عدسی.

منظور خواهند شد.

۴- فاصله کانونی عدسی همگرا با علامت مثبت و فاصله کانونی عدسی واگرا با علامت منفی منظور می‌شود.

بید قرارداد «حقیقی مثبت است». در این قرارداد:

۱- فرمول به صورت کلی $\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$ نوشته می‌شود.

۲- تمام فاصله‌ها از مرکز اپتیکی عدسی سنجیده می‌شوند.

۳- فاصله هر شیء یا تصویر حقیقی از عدسی با علامت مثبت و فاصله هر شیء یا تصویر مجازی از عدسی با علامت منفی منظور می‌شود.

۴- فاصله کانونی عدسی همگرا مثبت و فاصله کانونی عدسی واگرا منفی است.

چند مثال

۱- شیئی را نخست در فاصله $p = 20$ سانتیمتری، سپس در فاصله $p = 5$ سانتیمتری عدسی همگرایی که فاصله کانونی آن $f = 15$ سانتیمتر است عمود بر محور اصلی آن قرار می‌دهیم. جای و نوع تصویر و بزرگنمایی عدسی را در هر دو حالت پیدا کنید.

بنابراین قرارداد «حقیقی مثبت است»:

حالت یکم - داریم

$$p = +20 \text{ cm} \quad (\text{شیء حقیقی است})$$

(عدسی همگرا و کانون حقیقی است)

$$f = +15 \text{ cm}$$

این اندازه‌ها را در فرمول

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$$

قرار می‌دهیم:

بنابراین قرارداد «جهت تابش نور مثبت است»:

حالت یکم - داریم

$$p = -20 \text{ cm}$$

(شیء در طرف چپ عدسی است)

$$f = +15 \text{ cm} \quad (\text{عدسی همگرا})$$

این اندازه‌ها را در فرمول

$$-\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$$

قرار می‌دهیم:

$$\frac{1}{20} + \frac{1}{q} = \frac{1}{15}$$

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{15} - \frac{1}{20} = \frac{4-3}{60} = \frac{1}{60} \quad \text{یا}$$

$$q = +60 \text{ cm} \quad \text{و از آنجا: (تصویر حقیقی)}$$

$$\text{بزرگنمایی} = \frac{q}{p} = \frac{60}{20} = 3$$

یعنی تصویر حقیقی است و در فاصله ۶۰ سانتیمتری عدسی تشکیل می‌شود و بلندی آن سه برابر بلندی شیء است.

$$-\frac{1}{-20} + \frac{1}{q} = \frac{1}{15}$$

$$\frac{1}{20} + \frac{1}{q} = \frac{1}{15} \quad \text{یا}$$

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{15} - \frac{1}{20} = \frac{4-3}{60} = \frac{1}{60} \quad \text{یا}$$

$$q = +60 \text{ cm} \quad \text{و از آنجا: (تصویر در طرف راست و حقیقی)}$$

$$\text{بزرگنمایی} = \frac{q}{p} = \frac{60}{20} = 3$$

یعنی تصویر حقیقی است و در ۶۰ سانتی-متری عدسی و در طرف دیگر عدسی تشکیل می‌شود و بلندی آن سه برابر بلندی شیء است.

حالت دوم-

$$p = 5 \text{ cm} \quad (\text{شیء حقیقی})$$

$$\frac{1}{5} + \frac{1}{q} = \frac{1}{15}$$

$$\therefore \frac{1}{q} = \frac{1}{15} - \frac{1}{5} = \frac{1-3}{15} = -\frac{2}{15}$$

$$q = -7.5 \text{ cm} \quad \text{و: (تصویر مجازی است)}$$

$$\text{بزرگنمایی} = \frac{q}{p} = \frac{7.5}{5} = 1.5$$

در این حالت یک تصویر مجازی در فاصله ۷/۵ سانتیمتری عدسی تشکیل می‌شود که بلندی آن ۱/۵ برابر بلندی شیء است.

حالت دوم

$$p = -5 \text{ cm} \quad (\text{شیء در طرف چپ عدسی})$$

$$-\frac{1}{-5} + \frac{1}{q} = \frac{1}{15}$$

$$\therefore \frac{1}{q} = \frac{1}{15} - \frac{1}{5} = \frac{1-3}{15} = -\frac{2}{15}$$

$$q = -7.5 \text{ cm} \quad \text{و:}$$

(تصویر در طرف چپ عدسی و مجازی)

$$\text{بزرگنمایی} = \frac{q}{p} = \frac{7.5}{5} = 1.5$$

در این حالت یک تصویر مجازی در طرف چپ عدسی (یعنی در همان طرف شیء) به فاصله ۷/۵ سانتیمتر از عدسی تشکیل می‌شود که بلندی آن ۱/۵ برابر بلندی شیء است.

که p برابر شیء است. فاصله تصویر از عدسی و فاصله کانونی عدسی چه اندازه است؟

۲- یک عدسی همگرا از شیشی که در فاصله ۱۲ سانتیمتری آن قرار گرفته تصویر مجازی داده است

بنا به قرارداد «جهت تابش نور مثبت است»

$$\text{بزرگنمایی} = \frac{q}{p} = 4$$

$$\therefore q = 4p = 4 \times 12 = 48 \text{ cm}$$

بنابراین:

$$p = -12 \text{ cm} \quad (\text{شی در طرف چپ عدسی})$$

$$q = -48 \text{ cm} \quad (\text{تصویر مجازی و طرف چپ عدسی})$$

این اندازه‌ها را در فرمول

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad \text{قرار می‌دهیم:}$$

$$-\frac{1}{12} + \frac{1}{-48} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{12} - \frac{1}{48} = \frac{4-1}{48} = \frac{3}{48} \quad \text{یا:}$$

$$f = 16 \text{ cm} \quad \text{و از آنجا:}$$

بنا به قرارداد «حقیقی مثبت است»

$$\text{بزرگنمایی} = \frac{q}{p} = 4$$

$$\therefore q = 4p = 4 \times 12 = 48 \text{ cm}$$

بنابراین:

$$p = 12 \text{ cm} \quad (\text{شی حقیقی})$$

$$q = 48 \text{ cm} \quad (\text{تصویر مجازی})$$

این اندازه‌ها را در فرمول

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad \text{قرار می‌دهیم:}$$

$$\frac{1}{12} + \frac{1}{48} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{12} + \frac{1}{48} = \frac{4+1}{48} = \frac{5}{48} \quad \text{یا:}$$

$$f = 9.6 \text{ cm} \quad \text{و از آنجا}$$

۳- شینی در فاصله ۱۰ سانتیمتری عدسی و اگرایی که فاصله کانونی آن ۱۵ سانتیمتر است قرار دارد. چگونگی تصویر و فاصله آن را از عدسی معین کنید.

بنا به قرارداد «جهت تابش نور مثبت است»

$$p = -10 \text{ cm} \quad (\text{شی در طرف چپ عدسی})$$

$$f = -15 \text{ cm} \quad (\text{عدسی واگرا})$$

این اندازه‌ها را در فرمول

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad \text{می‌گذاریم}$$

$$\therefore -\frac{1}{10} + \frac{1}{q} = \frac{1}{-15}$$

$$\frac{1}{q} = -\frac{1}{15} - \frac{1}{10} = \frac{-2-3}{30} = -\frac{5}{30} = -\frac{1}{6} \quad \text{یا}$$

$$q = -6 \text{ cm} \quad \text{یا}$$

یعنی تصویر در ۶ سانتیمتری طرف چپ

عدسی تشکیل می‌شود و مجازی است.

بنا به قرارداد «حقیقی مثبت است»

$$p = +10 \text{ cm} \quad (\text{شی حقیقی})$$

$$f = -15 \text{ cm} \quad (\text{کانون مجازی})$$

این اندازه‌ها را در فرمول

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad \text{می‌گذاریم:}$$

$$\therefore \frac{1}{10} + \frac{1}{q} = \frac{1}{-15}$$

$$\frac{1}{q} = -\frac{1}{15} - \frac{1}{10} = \frac{-2-3}{30} = -\frac{5}{30} = -\frac{1}{6}$$

$$q = -6 \text{ cm} \quad \text{یا}$$

یعنی تصویر مجازی و در فاصله ۶ سانتیمتری

عدسی است.

نقاط مزدوج - معادله

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$$

نسبت به فاصله‌های p و q متقارن است. از این خاصیت نتیجه می‌شود که می‌توان جای شیء و تصویر حقیقی حاصل از آنرا در عدسی عوض کرد. یعنی وقتی عدسی از يك شیء تصویر حقیقی می‌دهد، اگر شیء در محل تشکیل تصویر قرار گیرد تصویر در جای شیء تشکیل خواهد شد. مثلاً در هر يك از حالت‌هایی که در شکل‌های ۵-۶ و ۵-۷ و ۵-۸ (صفحه ۹۷) نشان داده شده‌است، اگر شیء OA به جای تصویر IB قرار گیرد تصویر IB درست در جای شیء OA تشکیل می‌شود.

O و I را «نقاط مزدوج» گویند.

در آزمایشگاه برای نشان دادن فاصله‌های مزدوج با يك عدسی و يك صفحه (که تصویر روی آن تشکیل می‌شود) می‌توان جای شیء و صفحه تصویر را با هم عوض کرد یا این که فاصله شیء و صفحه تصویر را ثابت نگهداشت و خود عدسی را جابجا نمود. مثلاً اگر $p = ۳۰\text{cm}$ و $q = ۵۰\text{cm}$

باشد چنانچه عدسی را در فاصله ۵۰ سانتیمتری شیء قرار دهیم تصویر حقیقی آن در فاصله ۳۰ سانتیمتری عدسی تشکیل خواهد شد (شکل ۵-۱۳). به عبارت دیگر اگر فاصله شیء از صفحه تصویر ثابت باشد برای تشکیل تصویر واضح روی این صفحه می‌توان عدسی را در دو وضع متفاوت قرار داد ولی در این دو وضعیت طول تصویرهایی که روی صفحه تصویر تشکیل می‌شوند با هم برابر نیست بلکه یکی بزرگتر از شیء و دیگری کوچکتر از آن است.

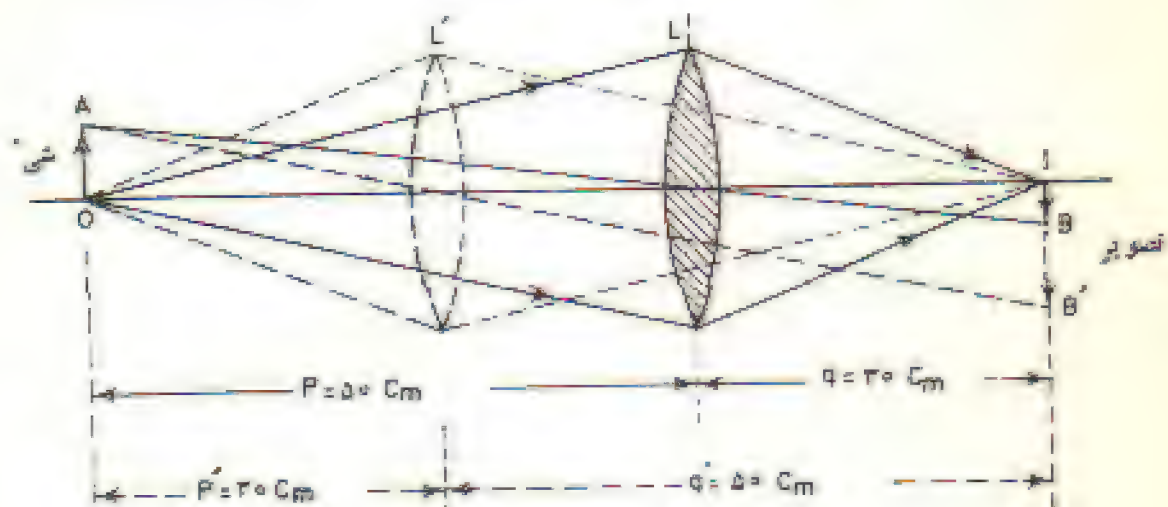
در مثال بالا، نسبت طول تصویر و شیء در يك حالت $\frac{۵}{۳}$ و در حالت دیگر $\frac{۳}{۵}$ است.

همگرایی عدسیهای ساده - عکس فاصله

کانونی هر عدسی ساده را بنا به تعریف «همگرایی» عدسی می‌نامند:

$$\text{همگرایی عدسی} = \frac{۱}{\text{فاصله کانونی عدسی}}$$

همگرایی را معمولاً به حرف C نمایش می‌دهند و واحد آن «دیوپتری» است به شرط آن که f (فاصله



شکل ۵-۱۳ - نقاط مزدوج در يك عدسی

کانونی عدسی) بر حسب متر باشد. در این صورت:

$$C = \frac{1}{f} \quad \text{(متر)} \quad \text{(دیوپتری)} \quad (۳-۵)$$

بنابراین يك دیوپتری همگرایی عدسی است که فاصله کانونی آن يك متر باشد.

در این رابطه f در حکم يك عدد جبری است که اگر عدسی همگرا باشد علامت آن مثبت و اگر واگرا باشد علامت آن منفی منظور می شود. بنابراین این همگرایی عدسیهای همگرا مثبت و همگرایی عدسیهای واگرا منفی است (و مناسبتر است که آن را واگرایی بنامیم). مثلاً همگرایی يك عدسی ساده همگرا که فاصله کانونی آن 50 cm است برابر $C = \frac{1}{0.50 \text{ m}} = 2.0$ دیوپتری و همگرایی يك عدسی واگرا به فاصله کانونی 50 cm برابر $C = \frac{1}{-0.50 \text{ m}} = -2.0$ دیوپتری است.

رابطه همگرایی عدسی ساده با مشخصات

ساختمانی آن - همگرایی يك عدسی ساده از يك طرف باشعاعهای انحناء دو وجه عدسی و از طرف دیگر با ضریب شکست ماده ای که عدسی از آن ساخته شده است بستگی دارد و از رابطه زیر که در واقع فرمول ساخت عدسی است مشخص می شود:

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad (۴-۵)$$

در این رابطه n ضریب شکست و R_1 و R_2 شعاعهای انحناء دو وجه عدسی است. R_1 و R_2

مانند f اعداد جبری هستند که علامتهای مثبت یا منفی آنها طبق دستورهای قراردادی زیر معین می شود:

۱- برای آسانی کار جهت تابش نور از چپ به راست گرفته می شود.

۲- اگر پرتوهای نور تابیده به سطح محدب عدسی برخورد کند علامت R مثبت است.

۳- اگر پرتوهای نور تابیده به سطح مقعر عدسی برخورد کند علامت R منفی است.

بدیهی است که اگر یکی از سطوح عدسی تخت باشد R آن بینهایت و $\frac{1}{R}$ صفر است.

برای توضیح بیشتر به مثال زیر توجه کنید: مثال - همگرایی يك عدسی هلالی شکل واگرا را که ضریب شکست آن تقریباً $1/5$ و شعاعهای انحناء دو وجه آن 25 cm و 50 cm است حساب کنید.

- اگر R_1 و R_2 به ترتیب شعاعهای دو وجه مقعر و محدب این عدسی (طبق شکل ۵-۱۴) باشد و جهت تابش نور را از چپ به راست بگیریم داریم:

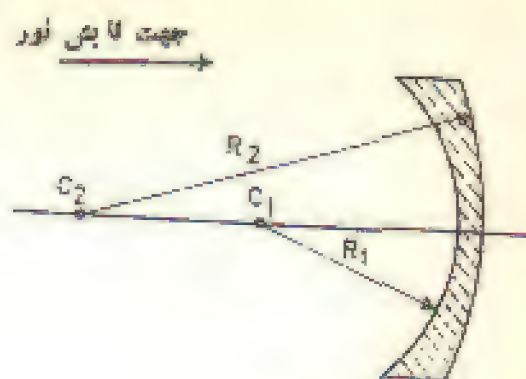
$$R_1 = -0.25 \text{ m} \quad \text{و} \quad R_2 = -0.50 \text{ m}$$

بنابراین طبق رابطه ۴-۵ خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} C = \frac{1}{f} &= (1/5 - 1) \left(\frac{1}{-0.25} - \frac{1}{-0.50} \right) \\ &= 0.5 \left(-\frac{1}{0.25} + \frac{1}{0.50} \right) \\ &= -\frac{0.5}{0.50} = -1 \text{ دیوپتری} \end{aligned}$$

یعنی $C = -1$ دیوپتری و $f = -1$ متر است.

بدیهی است شعاع انحنای دستگاه ساییده و صیقل‌دهنده وجه محدب عدسی نیز باید ۲۶/۵ سانتیمتر باشد.



شکل ۱۴-۵

همگرایی عدسیهای مرکب - عدسیهای مرکب از ترکیب دو یا چند عدسی ساده به هم چسبیده ساخته می‌شوند. شکل ۵-۱۵ عدسی مرکبی را نشان می‌دهد که از دو عدسی ساده همگرا و واگرای چسبیده به هم تشکیل یافته است.

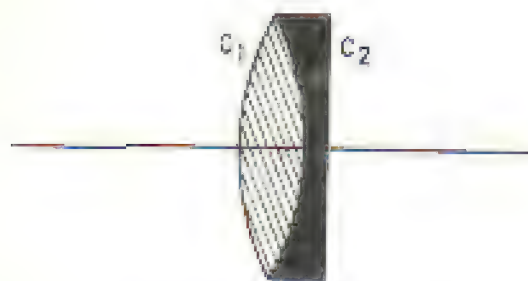
هر عدسی مرکب را می‌توان معادل یک عدسی ساده دانست که همگرایی آن برابر مجموع جبری همگرایی عدسیهای ساده تشکیل دهنده آن است. بنابراین اگر همگراییهای دو عدسی به هم چسبیده در شکل ۵-۱۵ به ترتیب C_1 و C_2 باشد همگرایی مجموعه برابر است با:

$$C = C_1 + C_2 \quad (5-5)$$

مثلاً اگر همگرایی عدسی ساده همگرا ۵ دیوپتری و همگرایی عدسی ساده واگرا ۳ - دیوپتری باشد همگرایی مجموعه برابر است با:

$$C = 5 - 3 = 2 \text{ دیوپتری}$$

یعنی مجموعه این دو عدسی معادل عدسی همگرایی به همگرایی ۲ دیوپتری است.



شکل ۱۵-۵ - عدسی مرکب

برای ساختن یک عدسی با فاصله کانونی مشخص، باید شعاعهای انحنای دو وجه عدسی و ضریب شکست شیشه آن به دقت معین شود. معمولاً برای اندازه گیری ضریب شکست شیشه عدسی، از نور زرد حاصل از یک لامپ سدیم استفاده می‌کنند. با تعیین ضریب شکست، شعاعهای انحنای دو وجه عدسی مورد نظر از رابطه ۴-۵ که فرمول ساخت عدسی است حساب می‌شود.

مثال - می‌خواهیم عدسی کوژ-تختی بسازیم که فاصله کانونی آن ۵۰/۰ cm باشد. اگر ضریب شکست شیشه آن برای نور زرد سدیم ۱/۵۲۰ باشد شعاع انحنای وجه محدب آن را که باید ساییده و صیقلی شود حساب کنید.

- چون عدسی همگراست، $f = +۵۰/۰ \text{ m}$ است. فرض می‌کنیم نور ابتدا به وجه محدب بتابد و از وجه مسطح خارج شود در این صورت $R_2 = \infty$ است به ازاء $n = ۱/۵۲۰$ خواهیم داشت:

$$\frac{1}{۵۰/۰} = \left(\frac{1}{R_1} - ۱ \right) \left(\frac{1}{R_2} - ۰ \right)$$

$$R_1 = ۵۰/۵۰۰ \times ۵۰/۵۲۰ = ۵۰/۲۶۰ \text{ m}$$

$$R_1 = ۲۶/۰ \text{ cm} \text{ یا}$$

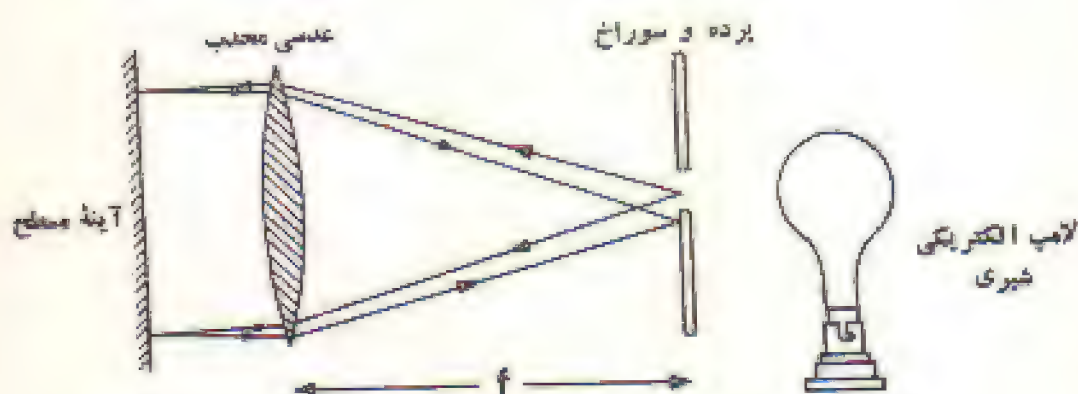
فایده عدسیهای مرکب این است که به وسیله آورد آنها در دستگاههای دقیق اپتیکی می توان تصویرهای واضحتر و دقیق تر با استفاده از نور سفید به دست آورد. پرسش ۵-۹- آیا می توانید با استفاده از فرمول عدسیها رابطه ۵-۹ را مستقیماً به دست آورید؟

خودتان آزمایش کنید

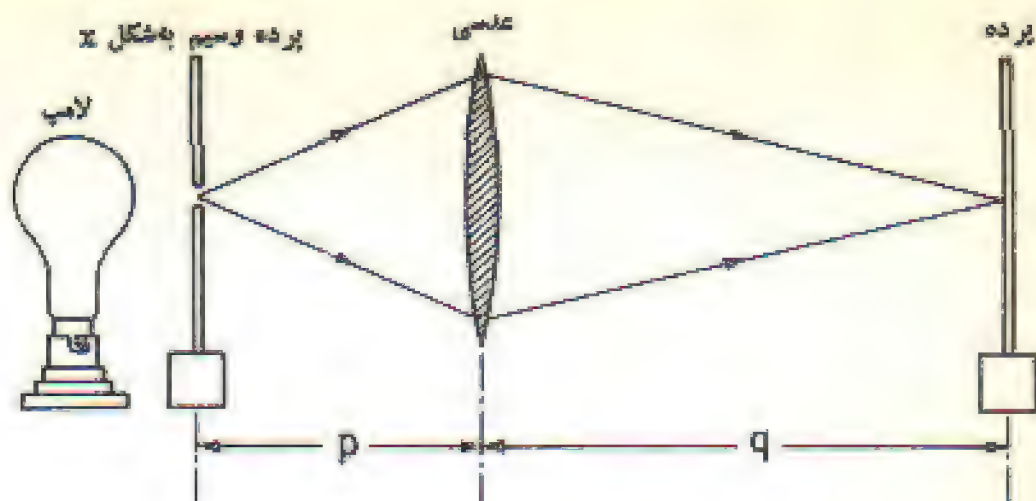
فاصله کانونی يك عدسی همگرا را اندازه بگیرید.

۱) صفحه فلزی سفید رنگ و نازکی را که در وسط سوراخ گردی دارد آماده کنید و دو رشته سیم باریک عمود برهم در امتداد دو قطر سوراخ روی صفحه نصب نمایید و صفحه را در سطح قائم روی پایه قرار دهید و آن را از پشت توسط يك لامپ الکتریکی شیری رنگ روشن کنید. عدسی همگرایی را که روی پایه ای نصب است با يك آینه تخت مقابل هم طوری بگذارید که دسته پرتوهایی که از سوراخ صفحه فلزی به عدسی می تابند پس از گذشتن از عدسی به آینه تابیده و از روی آن بازتاب حاصل کنند و دوباره وارد عدسی بشوند (شکل ۵-۱۶). آن قدر جای عدسی را تغییر دهید تا تصویر واضحی از دورشته سیم که در حکم شی* است بر روی صفحه نزدیک سوراخ تشکیل شود. در این حالت فاصله صفحه را از عدسی به دقت اندازه بگیرید. این فاصله برابر فاصله کانونی عدسی است. زیرا جسم در سطح کانونی عدسی (یعنی سطحی که از کانون عدسی می گذرد) قرار دارد و پرتوهایی که از آن به عدسی می تابند موازی با محور اصلی از آن خارج شده به سطح آینه به طور عمودی می تابند و پس از بازتاب از روی آینه و گذشتن از عدسی دوباره در سطح کانونی آن جمع می شوند.

۲) می توانید به کمک رابطه $\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$ با تعیین فاصله های شی* و تصویر از عدسی، فاصله کانونی آن را حساب کنید. برای این منظور همان وسایل آزمایش ۱ را به کار برید ولی به جای آینه، صفحه سفید رنگ دیگری بگذارید (شکل ۵-۱۷) و آن قدر این صفحه را جا به جا کنید تا تصویر دورشته سیم به



شکل ۵-۱۶- تعیین فاصله کانونی عدسی همگرا.



شکل ۱۷-۵- تعیین فاصله کانونی عدسی با روش اندازه گیری p و q .

طور واضح بر روی آن تشکیل شود. p و q را به دقت اندازه بگیرید. جای عدسی یا صفحه‌ها را تغییر دهید و آزمایش را تکرار کنید و نتایج را در جدولی مانند جدول ۱-۵ بپرسید. اندازه f را در هر آزمایش حساب کنید و میانگین بگیرید و نتیجه حاصل را با آنچه از آزمایش ۱ به دست آورده‌اید مقایسه کنید.

جدول ۱-۵

p	q	$\frac{1}{p}$	$\frac{1}{q}$	$\pm \frac{1}{p} + \frac{1}{q}$
اندازه $\frac{1}{f}$				-----
اندازه f				-----

به این پرسشها پاسخ دهید

- (۱) سه نوع عدسی همگرا را که می‌شناسید نام ببرید و شکل آنها را رسم کنید.
- (۲) کانون اصلی، مرکز اپتیکی و فاصله کانونی عدسی را تعریف کنید.
- (۳) چگونه با انجام یک آزمایش می‌توانید فاصله کانونی یک عدسی همگرا را تعیین کنید؟
- (۴) با رسم دو شکل نشان دهید که یک عدسی همگرا می‌تواند هم تصویر حقیقی و هم تصویر مجازی بدهد.

- (۵) دو مثال از کاربرد عدسیها بیاورید که در آنها از تصویر حقیقی عدسی استفاده می‌شود، و دو مثال از کاربرد عدسیها بیاورید که در آنها از تصویر مجازی عدسی استفاده می‌شود.
- (۶) جسمی را در چه فاصله‌ای از يك عدسی همگرا باید قرار دهید تا تصویر حاصل از آن:
 الف- در بی‌نهایت تشکیل شود،
 ب- به اندازه خود جسم باشد،
 ج- مستقیم باشد،
 د- وارونه و بزرگتر از جسم باشد،
 هـ- تا ممکن است به خود جسم نزدیک باشد؟
- (۷) در چه حالتی می‌توان توسط يك عدسی همگرا تصویر مستقیم به دست آورد؟ این تصویر حقیقی است یا مجازی؟ با رسم شکلی آن را نشان دهید.
- (۸) منظور از تصویر حقیقی چیست؟ با رسم شکل توضیح دهید چگونه يك عدسی همگرا از شیء کوچکی که روی محور اصلی آن قرار دارد يك تصویر حقیقی می‌دهد.
- (۹) چند نوع عدسی واگرا می‌شناسید؟ شکل آنها را رسم کنید.
- (۱۰) چگونه به ظاهر می‌توانید يك عدسی واگرا را از عدسی همگرا تشخیص دهید. اگر نتوانید آنها را از روی شکل ظاهری تمیز دهید برای تشخیص آنها چه می‌کنید؟
- (۱۱) تصویری که عدسی واگرا از شیء حقیقی می‌دهد مجازی است یا حقیقی؟ با رسم شکل نشان دهید.
- (۱۲) اگر شیئی روی کانون يك عدسی واگرا قرار گیرد تصویر آن کجا و چگونه تشکیل می‌شود؟ با رسم شکل نمایش دهید.
- (۱۳) به چه نقاطی در عدسیها نقاط مزدوج گفته می‌شود؟ این نقاط چه ویژگیهایی دارند؟
- (۱۴) چرا عدسیها دو کانون و آینه‌های کروی فقط يك کانون دارند؟
- (۱۵) در نظر بگیرید که توسط يك عدسی از يك جسم تصویری بر روی صفحه‌ای تشکیل شده است. چه تغییری در وضع تصویر حاصل می‌شود اگر نیمه بالایی یا نیمه پایینی عدسی را بپوشانید؟
- (۱۶) در بیشتر دماسنجها، به‌ویژه دماسنج پزشکی، ساقه دماسنج به صورت يك عدسی استوانه‌ای - شکل ساخته می‌شود تا سطح جیوه از پشت آن بخوبی مشخص گردد. آیا این عدسی همگراست یا واگرا؟ طرز کار آن را توضیح دهید.
- (۱۷) اگر يك عدسی را (چه همگرا و چه واگرا) در آب فرو برید چه تغییری در فاصله کانونی آن حاصل می‌شود؟
- (۱۸) از يك عدسی کوژ - تخت برای گرفتن تصویر از يك جسم دور استفاده می‌شود. اگر وجه تخت یا وجه معذب آن به طرف جسم گرفته شود آیا در کیفیت تصویر تغییری حاصل می‌شود؟

این مسئله‌ها را حل کنید

(۱) هرگاه ذره‌بینی را در فاصله ۱۰ سانتیمتری جسم کوچکی قرار دهیم تصویر آن مستقیم و دو برابر بزرگتر دیده می‌شود. فاصله کانونی ذره‌بین را حساب کنید.

(۲) شیشی به طول یک میلیمتر در فاصله ۲۹ میلیمتری عدسی همگرایی که فاصله کانونی آن ۳۰ میلیمتر است قرار دارد و از آن تصویری در عدسی دیده می‌شود. فاصله تصویر از عدسی و بزرگی آن چه اندازه است؟
(۳) عدسی همگرایی به فاصله کانونی ۱۰ سانتیمتر از یک شیء تصویری حقیقی تشکیل داده است که بزرگی آن ۲ برابر بزرگی شیء است. فاصله‌های شیء و تصویر از عدسی چه اندازه است؟

(۴) اگر فاصله کانونی عدسی یک دستگاه عکسبرداری ۵ سانتیمتر باشد و بخواهیم با این دستگاه از شیشی که در فاصله یک متری عدسی آن واقع است تصویر واضحی بر روی فیلم درون آن به دست آوریم فاصله عدسی از فیلم را چه اندازه باید تنظیم کنیم؟

(۵) فاصله کانونی عدسی همگرایی ۱۰ سانتیمتر است. شیشی را در چه فاصله‌هایی از این عدسی باید بگذاریم تا از آن:

الف- تصویر حقیقی ۳ برابری تشکیل شود،

ب- تصویر مجازی ۳ برابری در آن دیده شود؟

در هر دو حال طرز تشکیل تصویر را با رسم شکل نمایش دهید.

(۶) شیشی به طول ۲ سانتیمتر در فاصله ۴۰ سانتیمتری عدسی واگرایی به فاصله کانونی ۲۰ سانتیمتر قرار دارد. فاصله تصویر را از عدسی و طول آن را حساب کنید.

(۷) فاصله کانونی یک عدسی همگرا ۱۰ سانتیمتر است. مطلوبست فاصله تصویر حاصل از یک شیء که در فواصل ۸۰ و ۸۳ و ۱۶ و ۳۲ و ۴۰ و ۸۰ سانتیمتری این عدسی قرار گیرد.

(۸) یک عدسی کوژ-تخت از شیشه نوع فلینت ساخته شده است که ضریب شکست آن برای نور بنفش $1/69$ و برای نور قرمز $1/64$ است. اگر شعاع انحناء وجه محدب آن $5/20$ متر باشد فاصله میان کانونهای این عدسی برای دو نور تک رنگ بنفش و قرمز چه اندازه است؟

(۹) یک عدسی از شیشه‌ای ساخته شده است که ضریب شکست متوسط آن $1/5$ و شعاعهای انحنای دو وجه آن $5/30$ متر و $5/60$ متر است. مطلوبست فاصله کانونی و همگرایی این عدسی اگر:

الف- هر دو وجه آن محدب باشد.

ب- هر دو وجه آن مقعر باشد.

جواب: الف- $5/40$ متر و $2/5$ دیوپتری. ب- $5/40$ متر و $2/5$ دیوپتری.

(۱۰) یک عدسی دو کوژ از شیشه‌ای به ضریب شکست $3/2$ ساخته شده و شعاعهای انحناء دو وجه

آن ۲۰ سانتیمتر و ۳۰ سانتیمتر است. فاصله کانونی این عدسی را در هوا و در آب حساب کنید.

جواب: ۲۴ سانتیمتر و ۹۶ سانتیمتر

(۱۱) شیئی به طول ۲ سانتیمتر در فاصله ۲۵ سانتیمتری يك عدسی كوژ- تخت كه فاصله كانونی آن ۳۵ سانتیمتر و ضریب شكست آن ۱/۵۵ است قرار داده شده است. مطلوبست:

الف- فاصله تصویر از عدسی و طول آن.

ب- شعاع انحنای وجه محدب عدسی.

(۱۲) دو عدسی كوژ-تخت داریم كه شعاع انحنای وجه محدب هر يك ۰/۲۵ متر و لسی ضریب شكست يکی ۱/۶۵ و ضریب شكست دیگری ۱/۵۵ است. اگر این دو عدسی را از طرف وجه تخت آنها به هم بچسبانیم فاصله كانونی عدسی مركب حاصل چه اندازه خواهد شد؟

(۱۳) دو عدسی همگرا كه فاصله كانونی هر يك ۵/۳۵m است به فاصله ۵/۴۵m از يكدیگر قرار گرفته اند به طوری كه محور اصلی آنها يکی است. شیئی به طول ۱cm در فاصله ۵/۵m متری يکی از آنها عمود بر محور اصلی گذاشته شده است. تصویر آخری در این دستگاه دو عدسی در كجا تشكيل می شود و بزرگی آن چیست؟

(۱۴) يك شیء و يك پرده به فاصله L از يكدیگر قرار گرفته اند. يك عدسی همگرا به فاصله كانونی Δ می تواند در دو وضع از این شیء تصویر واضح روی پرده بدهد. اگر Δ فاصله این دو وضع عدسی از يكدیگر باشد نشان دهید كه Δ از رابطه زیر حساب می شود:

$$\Delta = L \sqrt{1 - \frac{4f}{L}}$$

پاسخ به پرسشهای متن

(۱-۵) بلی. اگر شعاعهای انحنای دو وجه عدسی متفاوت باشند باز هم دو كانون از عدسی همواره به يك فاصله اند.

(۲-۵) در دستگاه عكسبرداری و در چشم.

(۳-۵) وقتی كه عدسی معمولی مقابل جسمی قرار می گیرد پرتوهایی كه از جسم به نزدیک كناره های عدسی می تابند زودتر از پرتوهایی كه به وسط آن تابیده می شوند پس از عبور از عدسی متقارب می شوند. بنا بر این تصویر همه نقاط جسم در يك سطح تشكيل نمی شود. در نتیجه وسط تصویر واضح و اطراف آن تار و كج به نظر می رسد. اگر جسم از خطوط افقی و قائم تشكيل یافته باشد این پدیده مشخص تر است. علت رنگی بودن اطراف تصویر این است كه عدسی مانند منشور نور را تجزیه می كند. برای رفع این عیبه باید جلو عدسی دیافراگمی كه سوراخ كوچکی دارد قرار داده شود تا پرتوهای نوری كه از آن می گذرند فقط به قسمت میانی عدسی بتابد. علاوه بر این در اسبابهای دقیق، به جای يك عدسی چند عدسی مناسب به كار می برند.

۴-۵) از کانون تا نصف فاصله کانونی.

۵-۵) از تشابه دو مثلث COA و CIB (در شکل ۱۱-۵) نتیجه می شود:

$$\frac{IB}{OA} = \frac{CI}{CO} = \frac{q}{p} \quad (۱)$$

و از تشابه دو مثلث FIB و FCL نتیجه می شود:

$$\frac{IB}{CL=OA} = \frac{FI}{FC} = \frac{q-f}{f} \quad (۲)$$

از مقایسه دو رابطه (۱) و (۲) نتیجه می شود:

$$\frac{q}{p} = \frac{q-f}{f}$$

$$qf = pq - fp$$

یا:

با تقسیم دو طرف این رابطه بر pqf خواهیم داشت:

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{f} - \frac{1}{q}$$

$$\boxed{\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}}$$

یا:

۵-۵) در نظر بگیریم که دو عدسی همگرای ساده L_1 و L_2 به قدر کفایت نازک داریم که می توانیم آنها را پهلوی هم قرار دهیم به طوری که مرکز نوری مشترکی داشته باشند. نقطه نورانی A را روی محور اصلی مشترک این دو عدسی به فاصله p از مرکز نوری مشترکشان (یعنی نقطه O) در نظر می گیریم (شکل ۱۸-۵).

عدسی L_1 (به فاصله کانونی f_1) به تنهایی از نقطه A تصویر حقیقی A_1 را می دهد و طبق قرارداد حقیقی مثبت است داریم:

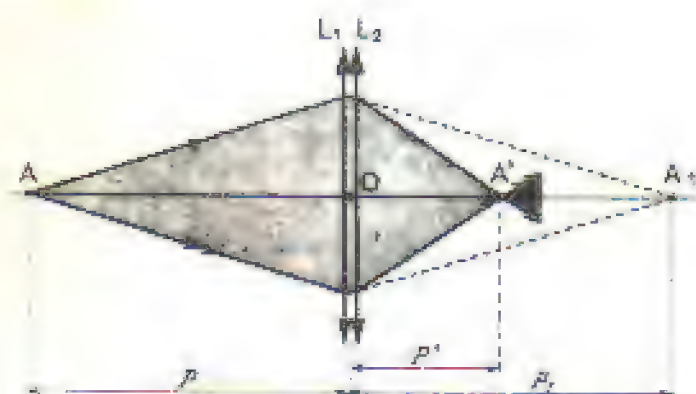
$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p_1} = \frac{1}{f_1} \quad (۱)$$

تصویر A_1 برای عدسی L_2 (به فاصله کانونی f_2) در حکم شیء مجازی است که از آن تصویر نهایی A' به دست می آید و بنابه همان قرار داد حقیقی مثبت است داریم:

$$-\frac{1}{p_1} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f_2} \quad (۲)$$

از جمع طرفین دو رابطه (۱) و (۲) با هم نتیجه می شود:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$



شکل ۱۸-۵

اگر فاصله کانونی عدسی معادل این دو عدسی را که می‌تواند از نقطه A تصویر A' را بدهد به F نمایش دهیم خواهیم داشت:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{F}$$

بنابراین:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \quad (۳)$$

یعنی مجموعه دو عدسی ساده چسبیده به هم به فواصل کانونی f_1 و f_2 معادل یک عدسی به فاصله کانونی F است که بین آنها رابطه (۳) برقرار است.

چون $\frac{1}{f_1} = C_1$ و $\frac{1}{f_2} = C_2$ است اگر $\frac{1}{F}$ را به C نمایش دهیم خواهیم داشت:

$$C = C_1 + C_2$$

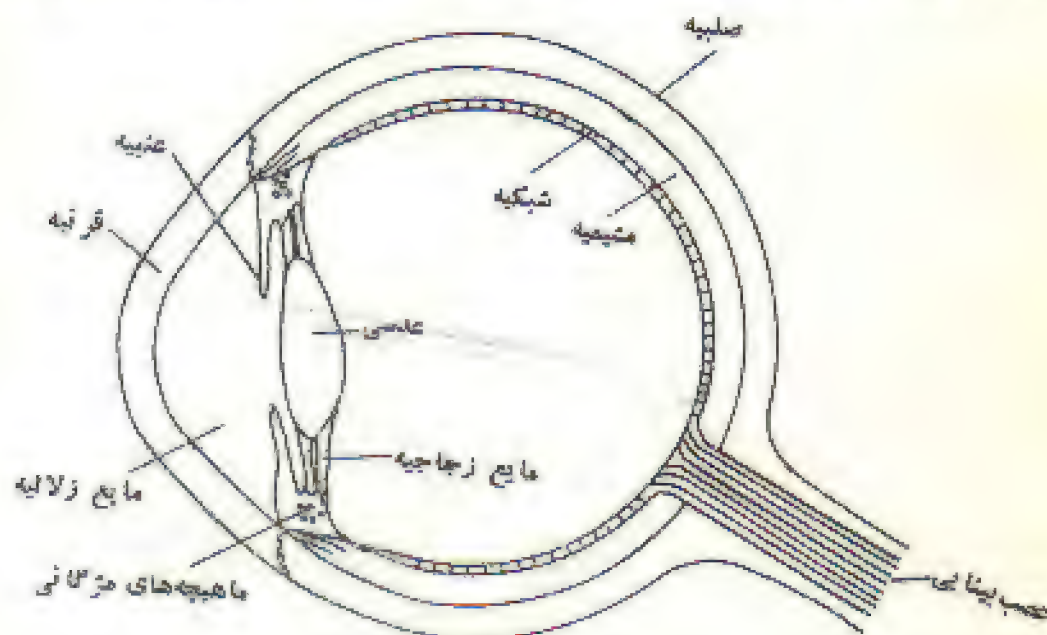
کاربرد عدسیها

در دستگاههای مربوط به بینایی

چشم در واقع برای ما مهمترین دستگاهی است که در آن عدسی به کار رفته است و لی دامنه عمل آن محدود است، زیرا نمی تواند اشیای خیلی ریز یا اشیای خیلی دور را ببیند. علاوه بر این نمی تواند مناظری را که می بیند ضبط کند و در موقع لزوم آنها را آشکار سازد. به همین جهت برای کمک به چشم و افزودن دامنه بینایی آن اسبابهای چندی بر اساس خواص عدسیها ساخته شده است. در این بخش نخست ساختمان چشم را از نظر رفتار اپتیکی آن خواهید آموخت سپس به اختصار با طرز استفاده از عدسیها در پاره ای از اسبابهای مربوط به بینایی آشنایی بیشتری پیدا خواهید کرد.

چشم

شکل ۱-۶ طرح ساده ای از ساختمان چشم انسان را نشان می دهد که تقریباً به شکل کره است. قسمت خارجی کره چشم از غشای سفید رنگ سختی پوشیده شده و درون آن از مایعهای شفاف پر شده است. در جلوی کره چشم پرده شفاف است که قزنبه نام دارد. بعد از قزنبه قسمت رنگین چشم قرار دارد که



شکل ۱-۶ - طرح ساده ای از چشم انسان.

در وسط آن سوراخ مردمک است. قطر سوراخ مردمک بسته به میزان نور، توسط قسمت رنگین چشم کوچک و بزرگ می شود و در واقع مقدار نوری را که وارد چشم می شود تنظیم می کند.

پرسش ۶-۱ - قطر مردمک چشم در چه صورت کوچک و در چه صورت بزرگ می شود؟

بعد از مردمک، عدسی شفاف چشم که همگرا است قرار دارد. این عدسی از اشیا بی که به آنها نگاه می کنیم تصویر کوچکی بر روی قسمتی از پرده حساس عقب چشم که شبکیه نام دارد تشکیل می دهد.

اعصاب بینایی که در این قسمت از سطح شبکیه پراکنده اند چشم را به مغز ارتباط می دهند. پس از آن که تصویر يك شی روی پرده شبکیه افتاد، خبر تشکیل تصویر توسط اعصاب بینایی از شبکیه به مغز فرستاده می شود و مغز این خبر را طوری تعبیر می کند که ما در واقع وضع و ابعاد کامل اشیا را چنان که هستند می بینیم. بنابراین آنچه را که می بینیم تصویری نیست که بر روی پرده شبکیه چشم تشکیل می شود بلکه تعبیری است که مغز از این تصویر می کند و نتیجه آن، چنان که گفتیم، دادن خود اشیا است که به آنها نگاه می کنیم.

تطابق چشم - چشم طبیعی همواره طوری خود را تطبیق می کند که اشیا دور و نزدیک را واضح ببیند. این عمل را تطابق گویند. عمل تطابق به کمک ماهیچه هایی به نام ماهیچه های مژگانی صورت می گیرد. این ماهیچه ها سبب می شوند که ضخامت عدسی چشم و در نتیجه فاصله کانونی آن تغییر کند برای دیدن اشیا نزدیک، ضخامت عدسی زیاد و در نتیجه فاصله کانونی آن کم می شود و برای دیدن اشیا دور برعکس، ضخامت عدسی کم و فاصله کانونی آن

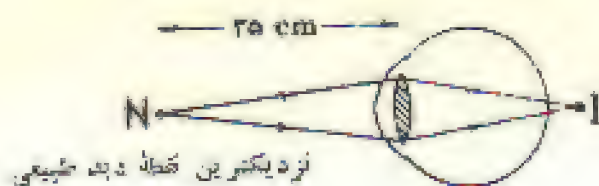
زیاد می شود ولی در هر حال این تغییرات در چشم طبیعی طوری صورت می گیرد که تصویر واضحی از اشیا چه دور و چه نزدیک، بر روی پرده شبکیه تشکیل شود.

معایب دید و اصلاح آنها با عینک - چشم طبیعی با عمل تطابق می تواند اشیا را از فاصله خیلی دور یا به اصطلاح از بی نهایت (دورترین فاصله دید) تا فاصله ۲۵ سانتیمتری (نزدیکترین فاصله دید) به طور وضوح ببیند ولی، چشم بعضی از اشخاص احتمالاً به علت کوچک بودن یا بزرگ بودن کره چشم نسبت به حالت طبیعی نمی توانند بین این دو حد تطابق کنند. در نتیجه معمولاً دو عیب دوربینی و نزدیک بینی در چشم پیدا می شود.

اینک شخص دوربینی را در نظر بگیریم که اشیا را می تواند ببیند ولی نزدیکترین فاصله دید او از ۲۵ سانتیمتر بیشتر است. بنابراین، در چشم این شخص تصویر اشیا نزدیک (مثلاً يك صفحه کتاب که در ۲۵ سانتیمتری آن است) پشت پرده شبکیه تشکیل می شود (شکل ۶-۲) و عدسی چشم نمی تواند با عمل تطابق تصویر آنها را روی این پرده بیندازد. در نتیجه این اشیا تار دیده می شوند.

برای اصلاح این عیب باید عدسی چشم را با يك عدسی همگرا که معمولاً به صورت عینک به کار می رود تقویت کرد تا پرتوهای گسیل شده از شی را پیش از رسیدن به چشم طوری به هم نزدیک کند که پس از گذشتن از عدسی چشم، درست بر روی پرده شبکیه تصویری را تشکیل دهند. در این صورت، چنین به نظر می رسد که پرتوها از نقطه O که نزدیکترین نقطه دید چشم است به سوی آن گسیل می شوند. در حالت نزدیک بینی، کره چشم احتمالاً بزرگتر

چشم دور بین:



الف: گره چشم کوچکتر از حالت طبیعی است و تصویر اشیای نزدیک پشت پرده شبکیه تشکیل می‌شود.



ب: نزدیکترین فاصله دید این شخص از ۲۵ سانتیمتر بیشتر است.



ج: اصلاح چشم به وسیله عینک همگرا: چنین به نظر می‌رسد که پرتوها از نقطه O (نزدیکترین نقطه دید چشم) به سوی چشم گسیل می‌شوند.

جسمی که در نقطه N است ظاهراً در O دیده می‌شود.

شکل ۲-۶ - چشم دور بین و علوز اصلاح آن.

برای اصلاح عیب نزدیک بینی و دیدن اشیای دور از عدسیهای واگرا، معمولاً به صورت عینک، استفاده می‌شود. این عدسیها پرتوهای موازی گسیل شده از اشیای دور را پیش از ورود به چشم از هم دور می‌کنند به طوری که پس از عبور از عدسی چشم،

از حالت طبیعی است. بنابراین تصویر اشیایی که در فاصله خیلی دور از چشم قرار دارند جلو پرده شبکیه تشکیل می‌شود (شکل ۳-۶)؛ در نتیجه این اشیا تار دیده می‌شوند. بزرگترین فاصله دید چشمهای نزدیک بین ممکن است يك متر یا کمتر از آن باشد.

چشم نزدیک بین:



الف: گره چشم بزرگتر از حالت طبیعی است و تصویر اشیای خیلی دور جلو پرده شبکیه تشکیل می‌شود.



ب: بزرگترین فاصله دید این چشم بی نهایت نیست.



ج: اصلاح چشم به وسیله عدسی واگرا، به نظر می‌رسد که پرتوها از F به سوی چشم گسیل می‌شوند.

شکل ۳-۶ - چشم نزدیک بین و علوز اصلاح آن.

تصویر این اشیا درست روی پرده شبکیه تشکیل شود. در این صورت چنین به نظر می رسد که پرتوها از نقطه F که هم کانون عصبی و اگر ا و هم دورترین نقطه دید چشم است به سوی آن گسیل می شوند.

آستیگماتیسم^۱ - قرنیه، سطح جلویی چشم را تشکیل می دهد که قسمت اعظم شکست نور در آن صورت می گیرد. در بسیاری از چشمها انحناي آن با جهت تغییر می کند. به عبارت دیگر، انحناي قرنیه در همه جهات یکسان نیست، در نتیجه از اشياء خطی که در جهات مختلف هستند، در آن واحد تصویر واضح بر روی پرده شبکیه تشکیل نمی شود. مثلاً میله های افقی يك پنجره واضح دیده می شوند در صورتیکه میله های قائم آن تار هستند یا برعکس. اصلاح این عیب بوسیله عدسیهای استوانه ای صورت می گیرد.

یادآوری - معمول چنین است که برای عینکها نمره گذاری می کنند. نمره عینك در واقع همگرایی عدسی است که به $\frac{1}{f}$ (یعنی عکس فاصله کانونی) نشان داده می شود به شرط آن که f بر حسب متر منظور شود. در این صورت $\frac{1}{f}$ بر حسب دیوپتری بیان می شود. نمره عینکهای همگرا با علامت مثبت و نمره عینکهای واگرا با علامت منفی منظور می گردد. مثلاً اگر نمره عینك شخص نزدیک بینی ۳ - باشد بدین معنی است که همگرایی آن ۲ - دیوپتری (دیوپتری ۲ - $= -\frac{1}{f}$) و $\frac{1}{f} = 2$ یا f = ۵۰ سانتیمتر است. بنابراین بزرگترین فاصله دید این شخص ۵۰ cm است.

پرسش ۶-۲ - اگر بزرگترین فاصله دید چشم

نزدیک بینی ۲۵ سانتیمتر باشد همگرایی عینکی که باید برای دیدن اشیاي خیلی دور به کار برد چند دیوپتری است؟

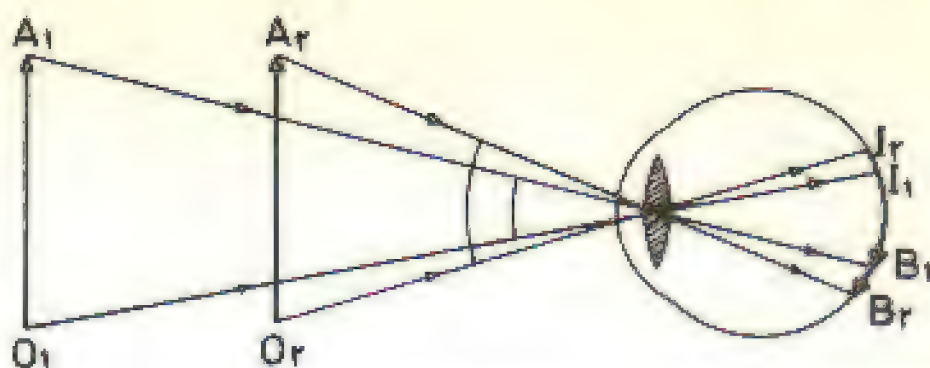
پرسش ۶-۳ - چرا هرچه جسمی از ما دورتر شود کوچکتر و هرچه به ما نزدیکتر شود بزرگتر دیده می شود؟

بزرگی زاویه ای و اندازه ظاهري اجسام

وقتی که به ردیف تیرهای چراغ کنار خیابان نگاه می کنیم با آن که همه آنها به يك اندازه اند تیرهایی را که دورترند کوتاهتر می بینیم. علت این است که بین پرتوهایی که از بالا و پایین تیرهای دورتر به سوی چشم گسیل می شوند زاویه کوچکتری درست می شود.

بنابراین پرتوهایی که از کناره های هر جسم به وسط عدسی چشم می تابند با هم زاویه ای می سازند که هرچه جسم به چشم نزدیکتر باشد این زاویه بزرگتر است (شکل ۶-۴). به همین جهت این زاویه را بزرگی زاویه ای جسم گویند. از طرف دیگر این زاویه بزرگی تصویری را که از جسم بر روی پرده شبکیه تشکیل می شود معین می کند بنابراین معرف اندازه ظاهري جسمی است که دیده می شود.

پرسش ۶-۴ - اگر اندازه این زاویه و فاصله جسم از چشم مشخص باشد چگونه می توان اندازه واقعی جسم را معین کرد؟

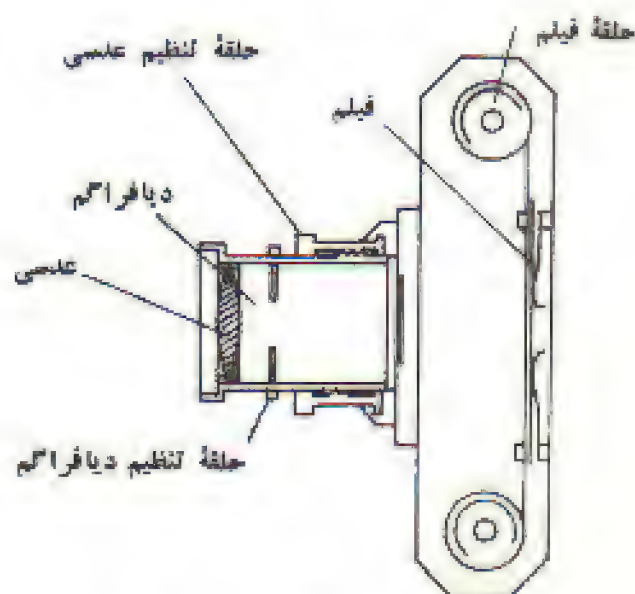


شکل ۶-۴. اندازه ظاهری هر جسم بستگی به زاویه‌ای دارد که تحت آن زاویه جسم دیده می‌شود.

دستگاه عکسبرداری

شکل ۵-۶ طرح ساده‌ای از يك دستگاه عکسبرداری دستی را نشان می‌دهد. این دستگاه از يك جعبه كوچك ضد نور درست شده است و به وسیله عدسی همگرایی مناسبی كه در جلو جعبه نصب است تصویر اشیا بر روی فیلم (یا يك صفحه حساس) كه در عقب جعبه قرار دارد می‌افتد. كار دستگاه عکسبرداری از لحاظ دادن تصویر مانند كار چشم است با این تفاوت كه عدسی چشم برخلاف عدسی دستگاه عکسبرداری ماده جامدی نیست و چنان كه گفتیم بسته به فاصله

جسم از چشم خود به خود ضخامتش تغییر می‌کند و تصویر جسم را بر روی پرده شبکیه می‌اندازد. در صورتی كه برای گرفتن عكس واضح از اجسامی كه در فاصله‌های مختلف، نسبت به دستگاه قرار دارند باید فاصله عدسی را از فیلم تغییر داد. علاوه بر این برای تنظیم میزان انرژی نورانی كه باید وارد دستگاه شود، يك دیاфраگم كه قطر دهانه آن تغییر می‌كند و يك دریچه كه با سرعت‌های متفاوت جلو دهانه عدسی باز و بسته می‌شود به كار می‌رود. بدیهی است تصویر يك جسم دور در سطح



شکل ۵-۶. دستگاه عکسبرداری ساده.

کانونی عدسی دستگاه عکس برداری تشکیل می شود. بنابراین اگر دو دستگاه عکس برداری با فاصله های کانونی متفاوت برای گرفتن عکس از يك منظره دور به کار روند طول هر تصویر مستقیماً متناسب با فاصله کانونی عدسی هر دستگاه خواهد بود. اگر در هر دو دستگاه يك نوع فیلم به کار رود مقدار کل انرژی نورانی که در مدت عکس گرفتن روی واحد سطح هر فیلم می رسد باید یکی باشد ولی مقدار انرژی نورانی که در واحد زمان وارد دستگاه می شود مستقیماً متناسب با سطح روزنه دایره ای شکل دیافراگم جلو عدسی است و این سطح نیز متناسب با مجذور قطر روزنه است. در نتیجه زمان عکس گرفتن با این دو دستگاه در صورتی یکی خواهد بود که نسبت فاصله کانونی به قطر روزنه دیافراگم در هر دو یکی باشد.

عدد F^1 - نسبت فاصله کانونی عدسی به قطر روزنه دیافراگم را «عدد F » گویند.

$$F = \frac{\text{فاصله کانونی عدسی}}{\text{قطر روزنه دیافراگم}} = \frac{f}{a}$$

و معمولاً مقدار عددی آن بصورت $\frac{F}{5}$ ، $\frac{F}{3}$ و ...

نوشته می شود و بدین معنی است که فاصله کانونی ۵ برابر، ۳ برابر و ... برابر قطر روزنه است.

چون سطح تصویر متناسب با مجذور فاصله کانونی (f^2) است و مقدار نوری که از عدسی عبور می کند متناسب با سطح مؤثر آن و در نتیجه متناسب با a^2 است، شدت روشنایی تصویر (یعنی مقدار نور در واحد سطح آن) متناسب با $\frac{a^2}{f^2}$ یا $\frac{1}{F^2}$ است. بنابراین

عدسی با عدد $\frac{F}{1}$ ، شدت تصویر را ۲۵ برابر عدسی

با عدد $\frac{F}{5}$ می دهد. یا مثلاً وقتی يك دستگاه

عکس برداری روی $\frac{F}{3}$ تنظیم می شود قطر دیافراگم

آن $\frac{1}{3}$ فاصله کانونی عدسی است. اگر دستگاه روی

$\frac{F}{6}$ تنظیم شود، برای همان منظره در همان شرایط

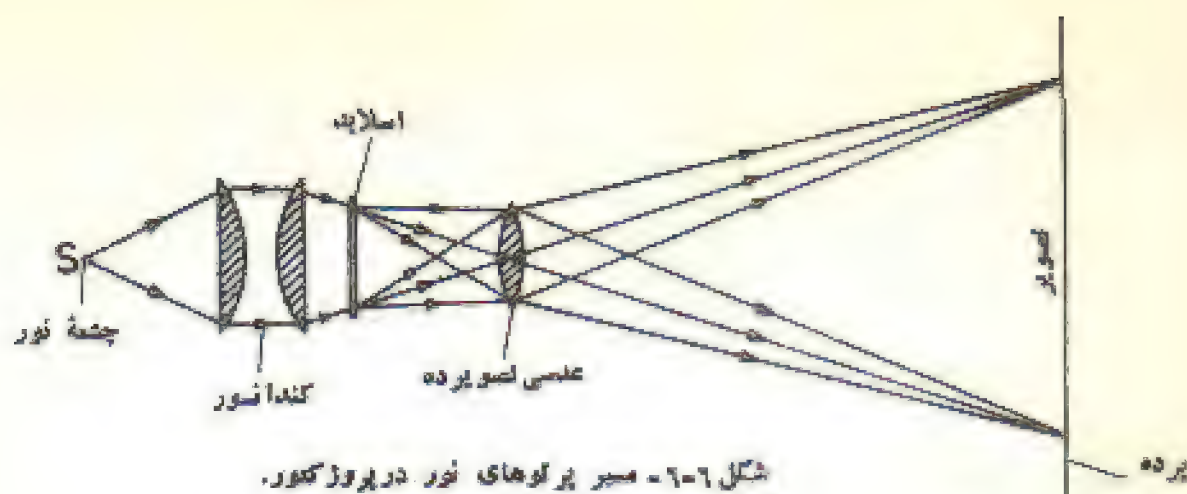
باید مدت عکس برداری ۴ برابر شود.

اگر از منظره ای در زمان خیلی کوتاه باید عکس گرفته شود لازم است که عدسی با عدد F که مقدار آن کوچک است به کار رود یعنی قطر روزنه دیافراگم باید بزرگ باشد.

تهیه يك عدسی با سطح بزرگ که خطاهای آن به نحو رضایت بخشی تصحیح شده باشد پر خرج است. به همین جهت قیمت يك دستگاه عکس برداری با عددی $F/1.5$ چند برابر قیمت يك دستگاه با عددی $F/3$ است.

پروژکتور

شکل ۶-۵ ترتیب قرار گرفتن عدسیها را در يك پروژکتور فیلم یا اسلاید نشان می دهد. چشمه نور ممکن است لامپ کوچک و پرنوری باشد تا نور کافی و متمرکز ایجاد کند. به وسیله دستگاه چکالگر که مرکب از دو عدسی کوژ-تخت است نور حاصل از چشمه نور بر روی فیلم یا اسلاید متمرکز می شود تا تصویر آن بر روی پرده کاملاً روشن باشد. عدسی



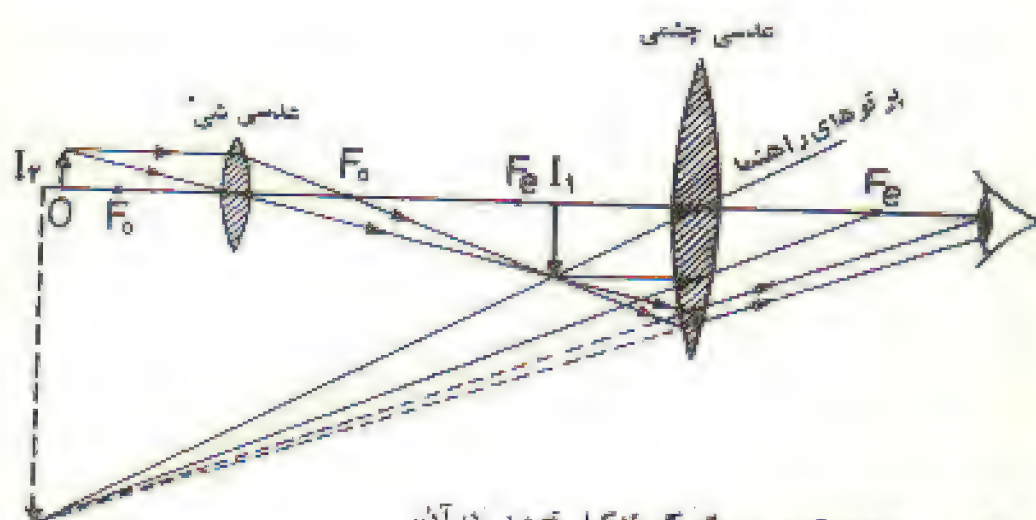
در این اسباب‌نشان می‌دهد. عدسی اول که عدسی چشمی نام دارد ازشی خیلی کوچک O تصویر حقیقی و بزرگتر و وارونه I_1 را تشکیل می‌دهد. تصویر I_1 برای عدسی دوم که عدسی چشمی نامیده می‌شود در حکم یک شیء است و این عدسی از آن تصویر نهایی I_2 را تشکیل می‌دهد که مجازی و مستقیم (نسبت به I_1) و باز هم بزرگتر است و همین تصویر است که با چشم دیده می‌شود.

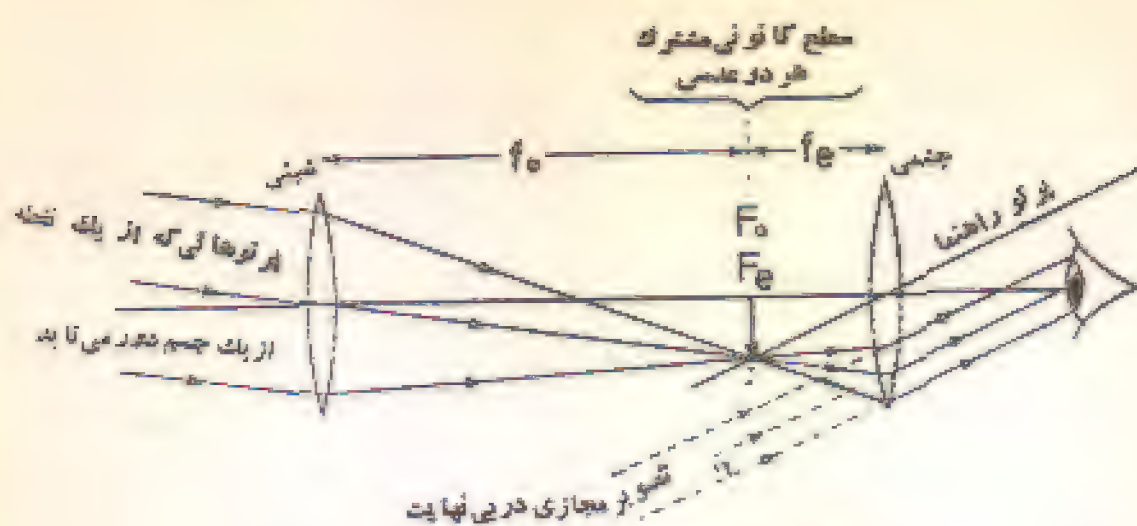
پوش ۵-۶ - اگر عدسی شیئی میکروسکوپ تصویر جسی را ۴۰ برابر کند و عدسی چشمی آن

تصویر دهنده، درون لوله‌ای نصب شده است و با جلو و عقب بردن آن نسبت به فیلم یا اسلاید، می‌توان تصویر واضحی بر روی پرده به دست آورد.

ریزین (میکروسکوپ) - ریزین یا

میکروسکوپ چنان که می‌دانید برای دیدن اشیای خیلی ریز که با چشم دیده نمی‌شوند به کار می‌رود. در این اسباب از دو عدسی همگرا که فاصله کانونی هر دو کوچک است استفاده می‌شود. شکل ۶-۷ ترتیب قرار گرفتن این عدسیها و طرز دادن تصویر را





شکل ۶-۸. تشکیل تصویر در دوربین نجومی.

این تصویر را f_o برابر بزرگتر نماید تصویر آخری نسبت به جسم چند برابر بزرگ می شود؟

هنگام مراجعه به شکل ۶-۷ توجه به این نکته لازم است که پرتوهای باریکتر و بدون علامت پیکان فقط برای تعیین جای واقعی تصویر به کار رفته اند. پرتوهای اصلی که از شیء گسیل شده به چشم وارد می شوند کلفت تر رسم شده اند و جهت تابش آنها نیز با علامت پیکان مشخص گردیده است.

دوربین نجومی (تلسکوپ نجومی)-

کار دوربین نجومی در واقع این است که بزرگی زاویه ای اجسام خیلی دور مانند ماه و سیارات را افزایش دهد. بنابراین وقتی با دوربین نجومی جسم دوری را نگاه می کنیم مانند این است که جسم بزرگ تری به چشم ما نزدیکتر می شود.

شکل ۶-۸ نشان می دهد که چگونه در دوربین

نجومی این کار صورت می گیرد:

هنگامی که عدسی شیئی دوربین به طرف يك ستاره بسیار دور میز آن می شود پرتوهایی که از يك نقطه این ستاره به عدسی دوربین می تابند محسوساً با هم موازینند. بنابراین از ستاره تصویری حقیقی مانند I در کانون این عدسی تشکیل می شود. معمولاً کانون عدسی چشمی نیز بر کانون عدسی شیئی منطبق است بنابراین تصویر I در حکم يك شیء حقیقی است که در کانون عدسی چشمی قرار دارد و اگر چشم ناظر طبیعی باشد تصویر نهایی را که مجازی و بزرگتر و در بی نهایت است خواهد دید. تصویر آخری نسبت به شیء اصلی معکوس است ولی در مورد ستاره، معکوس یا مستقیم بودن تصویر اهمیتی ندارد. برای این که توانایی دوربین در درشت کردن تصویر زیاد شود باید فاصله کانونی عدسی شیئی (یعنی f_o) بزرگ و فاصله کانونی عدسی چشمی (f_e) کوچک باشد (درست برعکس میکروسکوپ).

به این پرسشها پاسخ دهید

۱) با رسم شکل نشان دهید چگونه تصویر جسمی که مقابل چشم است بر روی پرده شبکیه چشم تشکیل می شود.

۲) با رسم شکلی اجزای اصلی چشم و طرز کار آن را شرح دهید.

۴) طرژکار چشم را با کار دستگاه عکسبرداری مقایسه کنید و درباره وجوه مشترك وغير مشترك آنها توضیح دهید.

۴) عیبهای دوربینی و نزدیکبینی چشم را شرح دهید. برای اصلاح این عیبهها چه باید کرد؟

۵) شخصی عینکی به چشم دارد که از پشت آن چشمهای او درست تر از آنچه هست دیده می شود

چشم این شخص دوربین است یا نزدیک بین. درباره جواب خود توضیح دهید.

۶) چگونه چشم برای دیدن اجسامی که در فواصل مختلف قرار دارند تطابق می کند؟

۷) چگونه چشم وضعیت خود را برای دیدن در روشنایی های متفاوت تطبیق می دهد؟

۸) چرا شناگر درون آب (حتی صاف) نمی تواند اشیاء نزدیک را به طور وضوح ببیند؟ چه عینکی

ممکن است به او کمک کند تا اجسام درون آب را واضحتر ببیند؟

۹) چرا در میکروسکوپهای ارزان قیمت که برای بچه ها ساخته می شود اطراف تصویری که در

آنها دیده می شود رنگی است؟ چگونه این عیب در میکروسکوپهای گران قیمت برطرف شده است؟

۱۰) توسط يك پروژكتور تصویری از يك اسلاید بر روی پرده ای تشکیل شده است. اگر برای

بزرگتر کردن تصویر، پرده را از پروژكتور دورتر ببریم برای داشتن تصویر واضح عدسی دهنده تصویر

را نسبت به اسلاید باید جلو ببریم یا عقب؟ درباره جواب خود توضیح دهید.

۱۱) با رسم شکل چگونه تشکیل تصویر را در میکروسکوپ شرح دهید.

۱۲) دوربین نجومی چگونه از اشیای دور تصویر می دهد. با رسم يك شکل نمایش دهید.

۱۳) با استفاده از شکل ۶-۸ و با توجه به تعریف بزرگی زاویه ای نشان دهید که درشتنمایی دوربین

نجومی، یعنی نسبت بزرگی زاویه ای تصویر (که با دوربین دیده می شود) به بزرگی زاویه ای جسم دور

(که بدون دوربین دیده می شود) وقتی که تصویر در بینهایت تشکیل می گردد برابر نسبت $\frac{F_o}{p_o}$ است.

این مسئله ها را حل کنید

۱) شخص دوربینی که کمترین فاصله دید او ۸۰ سانتیمتر است برای خواندن کتاب از يك عینك

دوربینی استفاده می کند که فاصله کانونی آن ۲۰ سانتیمتر است. اگر این شخص عینك را خیلی نزدیک به چشم

خود نگاه دارد کتاب را باید در چه فاصله از چشم خود بگیرد تا آن را به راحتی بخواند؟

جواب: ۱۶ سانتیمتر

۲) حداکثر فاصله دید چشم نزدیک بینی ۵/۵۰ متر است مطلوبست نمره عینکی که باید به کار رود

تا این چشم با آن بتواند اجسام دور را واضح ببیند. اگر برای این چشم از عینکی که نمره آن ۱/۲۵ -

است استفاده شود حداکثر فاصله دید آن چقدر خواهد بود؟

جواب: تقریباً ۱/۶۷ - و ۲/۴ متر

۳) نزدیکترین فاصله دید شخص دوربینی ۵/۸۰ متر است. این شخص برای خواندن کتاب که

آنرا در فاصله $5/30$ متری چشم خود نگاهداشته است از ذره‌بینی استفاده می‌کند که همگرایی آن $5+$ دیوپتری است معین کنید ذره‌بین را در چه فاصله از چشم خود باید نگاهدارد تا بتواند به‌طور وضوح کتاب را بخواند.
جواب: تقریباً 15 سانتیمتر

(۴) فاصله کانونی عدسی يك دستگاه عكاسی 5 سانتیمتر است. می‌خواهیم با این دستگاه ابتدا از شیئی که در فاصله 3 متری، سپس از شیء دیگری که در فاصله 30 متری است عکس بگیریم. معین کنید پس از عکس گرفتن از شیء نزدیکتر برای تنظیم دستگاه روی شیء دورتر چه اندازه باید عدسی را جابجا کنیم.
(۵) فواصل کانونی عدسیهای شیئی و چشمی میکروسکوپ به ترتیب $5/5\text{cm}$ و 2cm و فاصله مراکز اپتیکی آنها از یکدیگر 22cm است. اگر میکروسکوپ طوری تنظیم گردد که تصویر يك شیء در 25 سانتیمتری چشم (که به عدسی چشمی بسیار نزدیک است) دیده شود فاصله شیء از عدسی شیئی و بزرگنمایی خطی میکروسکوپ را حساب کنید.

(۶) عدسی چشمی يك تلسکوپ ذره‌بینی است که همگرایی آن 20 دیوپتری است. این تلسکوپ روی شیء بسیار دوری میزان شده است و هنگامی که تصویر نهایی با چشم سالم بدون تطابق دیده می‌شود (یعنی در بینهایت تشکیل می‌گردد) فاصله عدسیهای چشمی و شیئی از یکدیگر $1/25$ متر است. درشتنمایی این تلسکوپ را حساب کنید.

پاسخ به پرسشهای متن

(۱-۶) وقتی که نور زیاد باشد قطر مردمك كوچك و هنگامی که نور كم باشد قطر آن بزرگ می‌شود.
(۲-۶) این شخص باید عینك واگرایی به کار ببرد که فاصله کانونی عدسی آن 25 سانتیمتر باشد تا تصویر اشیای خیلی دور را (که در کانون عدسی تشکیل می‌شوند) در 25 سانتیمتری چشم خود ببیند.
بنابراین همگرایی عدسی این عینك که آن را به G نمایش می‌دهیم برابر است با:

$$G = \frac{1}{f} = \frac{1}{-0/25\text{m}} = -\frac{100}{25} = -4 \quad \text{دیوپتری}$$

(علامت «-» معرف واگرا بودن عدسی است).

(۳-۶) به شکل ۵-۱۶ و اندازه ظاهری اجسام مراجعه کنید.

(۴-۶) اگر اندازه بزرگی زاویه‌ای که بر حسب رادیان α بیان می‌شود به « α » و فاصله شیء را از چشم به « d » نمایش دهیم طول شیء AB از رابطه: $AB = d \cdot \alpha$ حساب می‌شود. اگر d بر حسب متر باشد AB نیز بر حسب متر به دست می‌آید. α همواره بر حسب رادیان است.

$$(5-6) \quad 20 \times 10 = 200 \quad \text{برابر}$$

۱- رادیان زاویه مرکزی مقابل به کمانی از دایره است که طول آن برابر شعاع دایره باشد.



تجزیه نور - رنگ نور

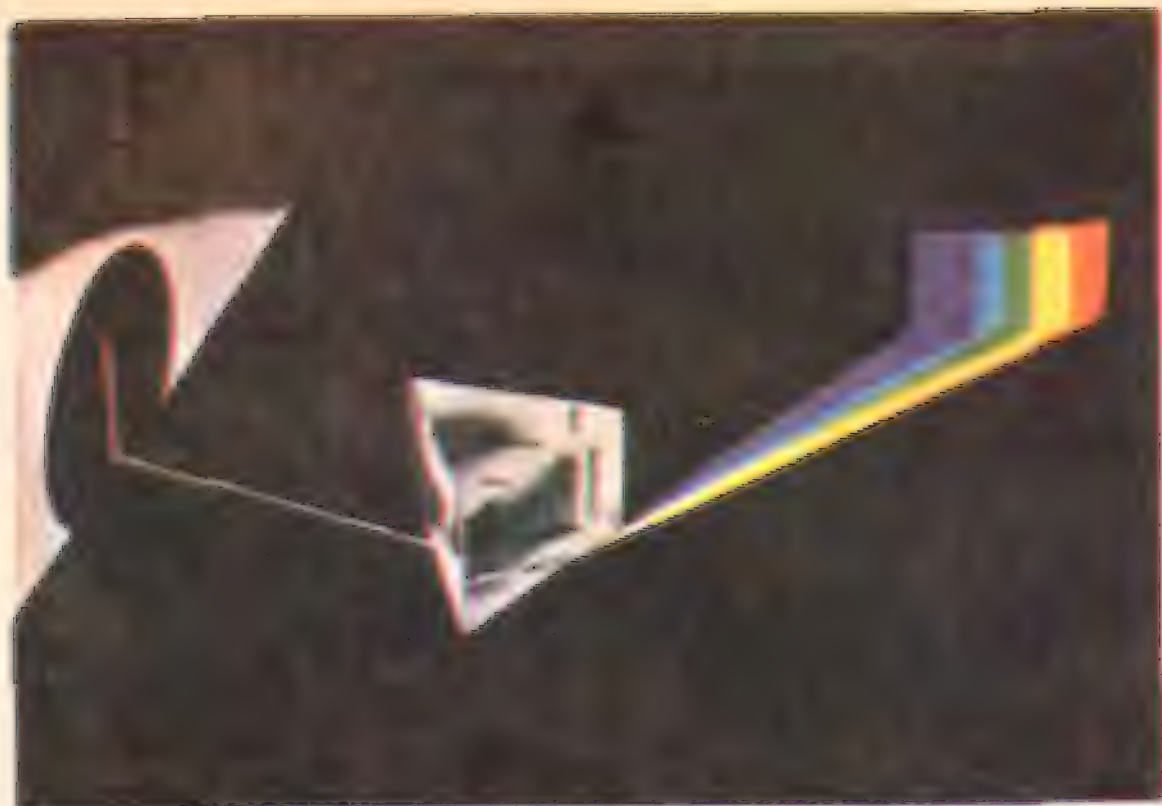
از قرن‌ها پیش می‌دانستند که خرده شیشه‌های بی‌رنگ و بعضی از سنگهای شفاف قیمتی، وقتی در مسیر نور سفید قرار می‌گیرند، درخشنده و رنگارنگ به نظر می‌رسند ولی تا قرن هفدهم میلادی درباره شناسایی علت این پدیده اقدام جدی نشده بود. نیوتن دانشمند انگلیسی در نیمه قرن هفدهم این پدیده را با روش منظمی مورد بررسی قرار داد. مطالعه نیوتن در این زمینه هنگامی آغاز شد که می‌اندیشید تا عیب رنگی بودن اطراف تصویرها که در تلسکوپ دیده می‌شد برطرف سازد. تلسکوپ در سال ۱۶۵۸ میلادی لی پرنش^۱، عینک ساز هلندی، اختراع شده بود.

آزمایش نیوتن با منشور

نیوتن آزمایشهای خود را با ایجاد يك سوراخ گرد كوچك در پرده يكي از پنجره‌های اتاق خود شروع کرد: نور آفتاب، به صورت يك دسته پرتو، از این سوراخ به درون اتاق می‌تابید و روی دیوار مقابل، لکه روشنی تشکیل می‌داد. نیوتن در مسیر این دسته پرتو، يك منشور شیشه‌ای که قاعده آن به شکل مثلث بود قرار داد (شکل ۷-۱) و مشاهده کرد که روی دیوار به جای لکه نور سفید يك لکه رنگین تشکیل می‌شود که در آن می‌توان هفت رنگ قرمز، نارنجی، زرد، سبز، آبی، نیلی و بنفش را تشخیص داد او این منظره رنگین را اسپکتروم^۲ نامید و ما اینک آن را طیف می‌نامیم. بیشتر اشخاص رنگ نیلی را از دنباله آبی به زحمت تمیز می‌دهند. نیوتن برای

توجیه علت تشکیل طیف، این تئوری را وضع کرد: نور سفید آمیزه‌ای از هفت رنگ است. ضریب شکست شیشه برای هر يك از این رنگها متفاوت است. بنا بر این وقتی که يك دسته پرتو نور سفید پرمشود می‌تابد هر رنگ بازایه شکست ویژه خود که برای رنگهای دیگر متفاوت است شکست می‌یابد. در نتیجه رنگهای تشکیل دهنده نور سفید از هم جدا می‌شوند و به شکل طیف هفت رنگ ظاهر می‌گردند.

پرسش ۷-۱- پس چرا نور وقتی از يك تیفه شیشه‌ای متوازی السطوح می‌گذرد تجزیه نمی‌شود؟
شکل ۷-۱ نشان می‌دهد که دسته پرتو نور تابش ضمن گذشتن از منشور به طرف قسمت ضخیم آن شکسته می‌شود ولی میزان شکست نور بنفش بیشتر و نور قرمز کمتر است. در این شکل، رنگ



شکل ۷-۱. آزمایش نیوتن بایک منشور.

دست آورد مجموعه‌ای از تصویرهای دایره‌ای شکل متوالی بود که هر يك قسمتی از دیگری را پوشانیده بود. نیوتن آزمایش خود را به ترتیبی که در شکل ۷-۲ نمایش داده شده است اصلاح و تکرار کرد و طیف یکدست‌تر و خالص‌تری به دست آورد.

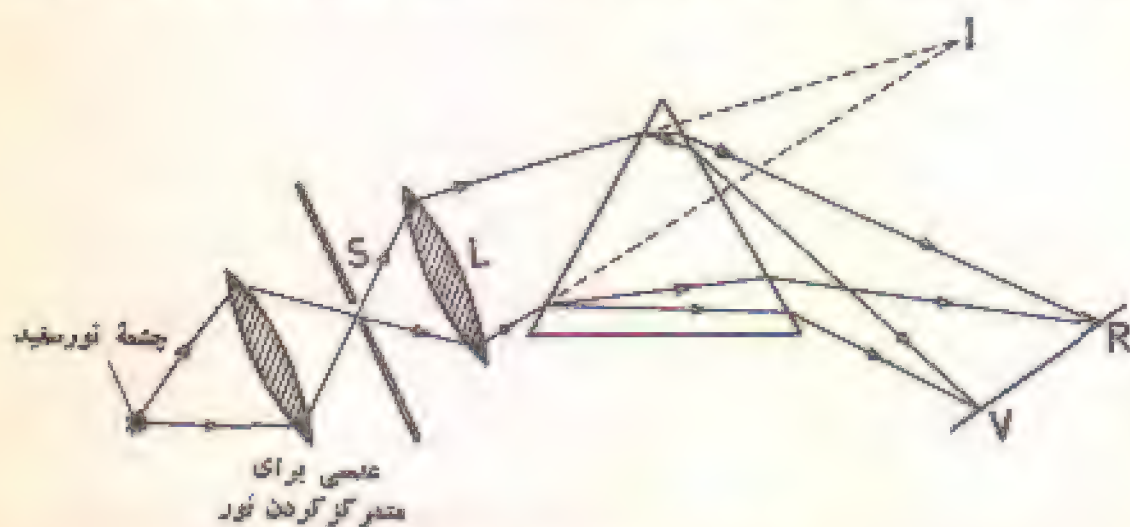
ترتیب آزمایش چنین است که نور سفید حاصل از يك چشمه مولد نور توسط يك عدسی همگرا بر روی شکاف باریك S متمرکز می‌شود و عدسی همگرای L از این شکاف روشن شده، در صورتی که منشور نباشد، تصویر I را تشکیل می‌دهد. وقتی که منشور در مسیر دسته پرتو نوری که از عدسی گذشته است

قرمز در بالا و رنگ بنفش در پایین و بقیه رنگها بین این دو رنگ دیده می‌شوند.

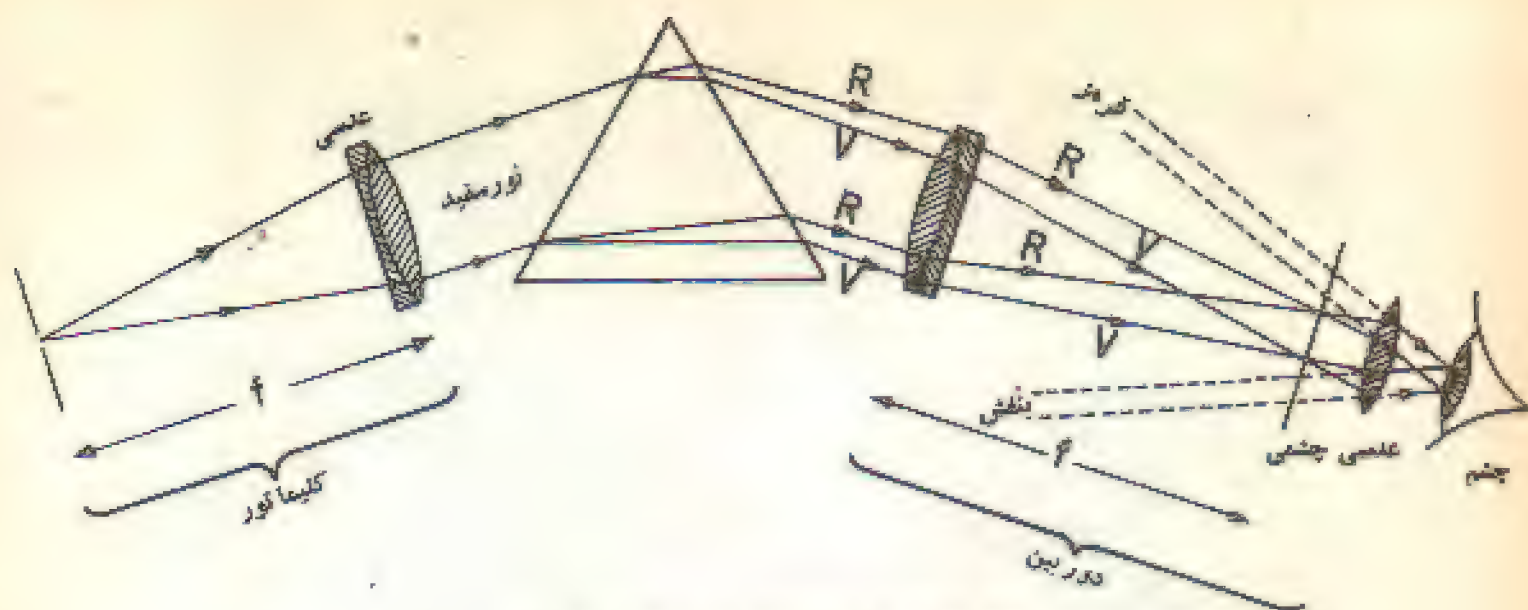
پوشش ۷-۲. از نظر خاصیت موجی بودن نور، رنگهایی که انحرافشان بیشتر است طول موجشان چگونه است؟

در واقع مرز مشخص بین دو رنگ مجاور هم نیست، بلکه هر يك از این رنگها به تدریج تغییر می‌کند، تا به رنگ دیگر تبدیل شود.

اصلاح نخستین آزمایش نیوتن - طیفی که در آزمایش اولیه نیوتن تشکیل شد یکدست و خالص نبود. زیرا آنچه وی در نخستین آزمایش خود به



شکل ۷-۳. تولید طیف یکدست.



شکل ۲-۴- طرح ساده‌ای از اسپکتروسکوپ.

است روی پرده سفیدی تشکیل گردد یا توسط ذره بینی بزرگتر از آنچه هست دیده شود (شکل ۲-۴). هرچه شکاف باریکتر باشد روی هم افتادگی رنگها کمتر و طیف یکدست‌تر و خالص‌تر است.

مجموعه شکاف و عدسی اول به نام کلیما تور^۲ نامیده می‌شود (یعنی موازی کننده). و مجموعه عدسی دوم و نزره بین روی هم یک دوربین را تشکیل می‌دهد.

ترکیب رنگهای طیف

همان‌طور که نور سفید می‌تواند به رنگهای ساده تجزیه شود منطقی به نظر می‌رسد که اگر رنگهای ساده موجود در نور سفید با هم ترکیب شوند نور سفید حاصل شود. این کار را می‌توان با قرار دادن منشور دیگری مشابه با منشور اول به طور وارونه در مسیر نور تجزیه شده انجام داد (شکل ۲-۴).

نیوتن ترکیب رنگهارا به وسیله قرص چرخنده‌ای که روی آن رابطه شکل قطعه‌هایی به هفت رنگ موجود در طیف نور سفید رنگ آمیزی کرده بود انجام داد. هرگاه این قرص به سرعت چرخانده شود سطح آن

قرار می‌گیرد این نور به هفت رنگ تجزیه می‌شود و طیف VR بر روی یک پرده تشکیل می‌گردد. هر چه شکاف S باریکتر باشد طیف حاصل، خالص‌تر و واضح‌تر است.

طیف‌نما

برای به دست آوردن طیف یکدست‌تر و خالص‌تر از آنچه در بالا بیان شد بهترین است که از یک دسته پرتو موازی در اسبابی به نام طیف‌نما یا اسپکتروسکوپ^۱ استفاده شود. این اسباب برای بررسی طیف هر نوع چشمه نور به کار می‌رود.

چشمه نور مقابل شکافی که در کانون اصلی یک عدسی همگراست قرار می‌گیرد. نوری که از شکاف به عدسی می‌تابد به صورت یک دسته پرتو موازی از آن خارج شده وارد منشور می‌شود و پس از شکست و تجزیه در منشور، به صورت دسته پرتوهای موازی و رنگین جداگانه درمی‌آید که هر دسته در سطح کانونی عدسی دیگری جمع شده و روی هم طیفی را تشکیل می‌دهند. در اینجا طیف ممکن

می‌شود.

نقش صافیهای نور در شناسایی رنگهای طیف هر گاه در شکلهای ۲-۷ و ۳-۷ جلو شکاف باریک صافیهای (فیلتر^۱) نور که شیشه‌های رنگین یا صفحه‌های ژلاتینی رنگین هستند گذارده شود نتایج جالبی به دست خواهد آمد. در فصل ۱ دیدیم نوری که از يك ماده شفاف رنگین می‌گذرد همواره به رنگ ماده است. در اینجا نیز با توجه به رنگهای مختلف طیف نور سفید می‌توانیم به نقش صافیهای نور که در واقع مواد شفاف رنگین هستند در عبور دادن بعضی از



شکل ۳-۷ - ترکیب رنگهای طیف و تولید نور سفید.

سفید به نظر می‌رسد. علت این است که اثر يك تصویر بر روی شبکیه چشم تا مدت کوتاهی (که کسر کوچکی از ثانیه است) پس از محو شدن تصویر باقی می‌ماند. در نتیجه مغز انسان تصویر رنگهای مختلف را که به سرعت از جلو چشم می‌گذرند در هم می‌آمیزد و تصویر سفید ساکنی را احساس می‌کند.

شکل ۵-۷ قرص نیوتن را که صفحه آن به چندین قطاع تقسیم شده و هر قطاع به هفت رنگ طیف رنگ آمیزی شده است نشان می‌دهد. اگر این قرص با نور سفید روشن شود و به سرعت بچرخد سطح آن سفید به نظر می‌رسد.

در اینجا باید یادآور شویم که تصویرهای بدون لرزشی که توسط پروژکتور بر پرده سینما تشکیل می‌شوند به علت باقی ماندن اثر تصویر بر شبکیه چشم است که در بالا به آن اشاره شد زیرا در هر ثانیه ۲۴ تصویر توسط پروژکتور از فیلم بر پرده سینما می‌افتد و هنوز اثر يك تصویر از پرده شبکیه محو نشده است که تصویر بعدی روی آن تشکیل می‌گردد و به همین جهت در حرکتها احساس پیوستگی طبیعی



شکل ۵-۷ - قرص نیوتن

رنگهای طیف و جذب رنگهای دیگر آن بی‌بیریم. مثلاً يك صافی ژلاتینی قرمز همه رنگهای طیف نور سفید را به جز رنگ قرمز جذب می‌کند. به همین ترتیب صافی سبز فقط نور سبز را از خود عبور می‌دهد. بنابراین در حالتی که صافی قرمز جلوشکاف قرار می‌گیرد در طیف فقط رنگ قرمز دیده می‌شود و در حالتی که صافی سبز جلوشکاف قرار داده می‌شود در طیف فقط رنگ سبز ظاهر می‌گردد. ولی در مورد صافی ژلاتینی زرد مسئله چیز دیگری است. طیفی که از بیشتر انواع صافیهای ژلاتینی زرد رنگ به دست می‌آید علاوه بر رنگ زرد شامل دو رنگ سبز و قرمز نیز هست. در اینجا نکته جالب توجه این است که اثر این رنگ زرد ترکیبی بر چشم درست مانند اثر نور زرد خالصی است که از يك صافی ویژه نور زرد به چشم می‌رسد. برای این که از لحاظ نامگذاری تشخیص این دو نوع زرد آسان باشد رنگ زرد اولی را زرد مرکب و رنگ زرد دومی را زرد ساده می‌نامیم. آزمایش نشان می‌دهد که زرد گلبرگها و بیشتر رنگهای زرد نقاشی، زرد مرکب هستند.

برای این که يك چشمه نور با رنگهای ساده مختلف داشته باشیم می‌توانیم يك لامپ الکتریکی معمولی را درون محفظه کدزی که دهانه بازی دارد قرار دهیم و جلو این دهانه را با صافیهای رنگین مورد نظر بپوشانیم. با چنین چشمه نوری می‌توانیم اجسام مختلف رنگی را درون يك اتاق تاریک در مسیر تابش پرتوهای رنگین قرار دهیم و رنگی را که پیدا می‌کنند مشاهده کنیم. مثلاً جسم قرمز در نور قرمز به رنگ قرمز دیده می‌شود در صورتی که اجسام سبز یا آبی در نور قرمز تیره به نظر می‌رسند زیرا این اجسام نور قرمز را جذب می‌کنند.

پیش ۷-۴- گل ترگیس زرد در مقابل چه نورهایی به رنگ زرد دیده می‌شود؟ اگر به این گل نور قرمز یا سبز بتابد به چه رنگ دیده می‌شود و اگر به آن نور آبی یا بنفش بتابد به چه رنگ دیده می‌شود؟

رنگهای اصلی و فرعی

نور زرد را می‌توان از آمیختن دو نور قرمز و سبز به دست آورد ولی ممکن نیست نورهای قرمز یا سبز یا آبی را از آمیختن دو نور رنگین دیگر تولید کرد. به همین جهت رنگهای قرمز و سبز و آبی را «رنگهای اصلی» می‌نامند.

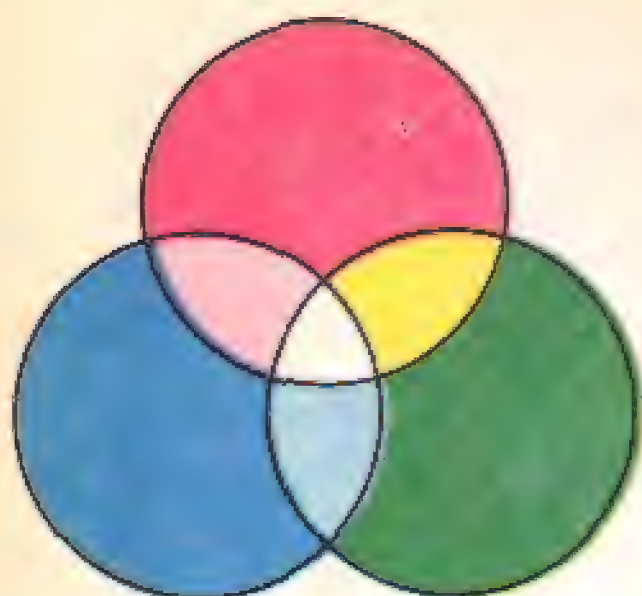
رنگ زرد نور را رنگ فرعی می‌نامند. دو رنگ فرعی دیگر نیز داریم: یکی گلی که از به هم آمیختن دو نور قرمز و آبی حاصل می‌شود و دیگری فیروزه‌ای که از مخلوط دو نور سبز و آبی به دست می‌آید (شکل ۷-۵).

به هم آمیختن رنگهای نور - قبل از شروع مطلب توجه به این نکته لازم است که نتیجه به هم آمیختن رنگهای نور با نتیجه مخلوط کردن رنگهای نقاشی کاملاً متفاوت است.

برای مطالعه اثرهای حاصل از به هم آمیختن رنگهای نور باید از سه چشمه نور جداگانه، مثلاً از سه پروژکتور، استفاده شود. بدین ترتیب که، صافیهای رنگین را که معمولاً به صورت اسلاید ساخته می‌شوند درون پروژکتورها قرار داده و تصویر آنها را، به شکل دایره‌های رنگین، بر روی يك پرده سفید طوری تنظیم کنند که هر دایره قسمتی از دایره دیگر را بپوشاند و سه تصویر در يك قسمت مشترک باشند. به این وسیله می‌توان نشان داد که از به هم آمیختن



شکل ۷-۶



سه رنگ اصلی قرمز و سبز و آبی نورسفید حاصل می شود (شکل ۷-۶).

برای این که از آزمایش نتیجه مطلوب به دست آید باید دقت کرد که صافیهای مناسبی برای تولید سه رنگ اصلی قرمز و سبز و آبی به کار برده شود. علاوه بر این شدت نور هر پروژکتور مناسب باشد. با استفاده از دو پروژکتور می توان واقعتهای زیر را نیز در مورد به هم آمیختن رنگها تحقیق کرد:

$$\text{زرد} = \text{سبز} + \text{قرمز}$$

$$\text{کلی} = \text{آبی} + \text{قرمز}$$

$$\text{فیروزه‌ای} = \text{سبز} + \text{آبی}$$

با توجه به این واقعتهای و با در نظر گرفتن این که نور سفید در اثر به هم آمیختن سه رنگ اصلی قرمز و سبز و آبی تولید می شود می توانیم نتیجه بگیریم که:

$$\text{سفید} = \text{کلی} + \text{سبز}$$

$$\text{سفید} = \text{فیروزه‌ای} + \text{قرمز}$$

$$\text{سفید} = \text{آبی} + \text{زرد}$$

به کمک دو پروژکتور که در آنها صافیهایی به

رنگهای مناسب قرار داده شود می توان درستی این نتایج را بررسی کرد.

هر دورنگی که از به هم آمیختن آنها نورسفید به دست آید رنگهای مکمل نامیده می شوند مثلاً نور زرد مکمل نور آبی و قرمز مکمل فیروزه‌ای و سبز مکمل کلی است.

پرسش ۷-۴- کدام رنگ نور می تواند مکمل دو نور قرمز و سبز باشد؟

مخلوط کردن رنگهای نقاشی - نخستین

چیزی که يك هنرآموز نقاشی یاد می گیرد این است که چگونه رنگ سبز را از مخلوط کردن دو رنگ زرد و آبی به دست بیاورد. باید توجه داشت که اگر دو رنگ زرد و آبی کاملاً ساده و واقعی باشند این کار ممکن نیست. به عبارت دیگر عامل موفقیت در ساختن رنگ سبز نقاشی از مخلوط دو رنگ زرد و آبی بستگی به این دارد که این دو رنگ ساده و خالص نباشند.

رنگ زرد نقاشی يك رنگ مرکب است به طوری که وقتی با نورسفید روشن می شود رنگهای قرمز و

زرد و سبز را باز می‌تاباند و آبی را جذب می‌نماید. رنگ آبی نقاشی هم رنگ ساده‌ای نیست و هنگامی که نور سفید به آن می‌تابد آبی و سبز را باز می‌تاباند و قرمز و زرد را جذب می‌کند. بنابراین وقتی که این دو رنگ به نسبت مساوی مخلوط می‌شوند، روی هم، قرمز و زرد و آبی را جذب می‌کنند و تنها رنگی را که هر دو مشترکاً باز می‌تابانند سبز است در نتیجه

مخلوط آنها سبز به نظر می‌رسد.

پرسش ۷-۵- اگر سه رنگ گلی و زرد و فیروزه‌ای را با هم مخلوط کنیم چه رنگی به دست خواهد آمد؟

پرسش ۷-۶- چه تفاوتی بین رویدادهای ناشی از به هم آمیختن رنگهای نقاشی و رنگهای نور احساس می‌کنید؟

خودتان آزمایش کنید

- ۱) با يك منشور و دو عدسی و يك لامپ که در جلو آن شکاف باریکی قرار دارد دستگاهی مانند شکل ۲-۷ سوار کنید و طیف نور سفید حاصل از لامپ را تشکیل دهید. به کمک صافیهای مختلفی که در آزمایشگاه موجود است رنگهای مختلف طیف را بررسی کنید.
- ۲) در صورتی که لامپ سدیم یا لامپ جیوه در اختیار دارید آنها را روشن کرده جلو شکاف دستگاه قرار دهید و طیف آنها را با طیف نور سفید مقایسه کنید و نتایج مشاهدات خود را بنویسید.

به این پرسشها پاسخ دهید

- ۱) علت تجزیه نور سفید در منشور چیست؟ با رسم يك شكل طرز تجزیه نور سفید را در منشور نشان دهید.
- ۲) در طیف نور سفید حاصل از يك منشور کدام رنگ بیشتر و کدام رنگ کمتر منحرف می‌شود.
- ۳) دو آزمایش شرح دهید که در یکی از آنها نور سفید به رنگهای مختلف تجزیه شود و در دیگری رنگهای تجزیه شده دوباره با هم ترکیب شده نور سفید را تشکیل دهند.
- ۴) با رسم شكل نشان دهید که برای تشکیل طیف یکدست و خالص نور سفید بر روی يك پرده وسایل لازم را چگونه باید ردیف کرد. توضیح دهید:
- الف- اگر در مسیر نور سفید يك صافی آبی ساده قرار دهیم در طیف روی پرده چه تغییری ایجاد می‌شود.
- ب- اگر صافی آبی را برداریم ولی به جای پرده سفید يك پرده قرمز قرار دهیم چه تغییری در طیف حاصل می‌شود.
- ج- اگر پرده قرمز در جای خود باشد و صافی آبی را دوباره در مسیر نور جلو شکاف قرار دهیم طیف

چگونه به نظر می‌رسد.

درباره جوابهای خود شرح مختصری بدهید.

۵) توضیح دهید چگونه طیف نور حاصل از يك لامپ الكتريكي را می‌توان بر روی يك پرده سفید تشکیل داد؟ مسیر نور را که از وسایل مختلف می‌گذرد رسم کنید. توضیح دهید چه تغییراتی در طیف حاصل می‌شود اگر:

الف- جلو لامپ يك شیشه قرمز بگذاریم؛

ب- شیشه قرمز را برداشته به جای پرده سفید يك پرده سبز بگذاریم؛

ج- از شیشه قرمز و پرده سبز با هم استفاده کنیم.

۶) توضیح دهید:

الف- چرا اگر دو شیشه به رنگهای آبی و زرد را روی هم گذاشته و آنها را در مسیر نور سفید قرار دهیم مقدار نوری که از این مجموعه می‌گذرد خیلی کم است.

ب- چرا از مخلوط کردن دو رنگ نقاشی آبی و زرد، رنگ سبز تولید می‌شود.

ج- چرا يك جسم آبی رنگ در نور زرد به رنگ سیاه دیده می‌شود؟

۷) اگر برگهایی که برگهای سبز و گلهای قرمز دارد به ترتیب نورهای سبز و قرمز و آبی بتابد برگها و گلهای این گیاه در هريك از این نورها به چه رنگ دیده می‌شوند؟ فرض کنید تمام این رنگها ساده و خالص هستند.

۸) فاصله کانونی يك عدسی ساده برای نور قرمز با فاصله کانونی همین عدسی برای نور آبی متفاوت است. علت این تفاوت را بیان کنید. با استدلال توضیح دهید که کدام يك از دو اندازه فاصله کانونی برای این دو رنگ بزرگتر است.

پاسخ به پرسشهای متن

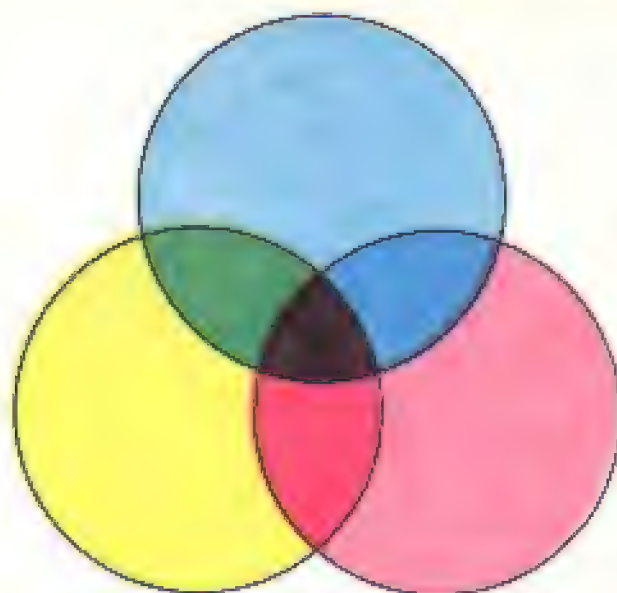
۱-۷) نور سفید وقتی که از هوا وارد تیغه شیشه‌ای متوازی السطوح می‌شود تجزیه می‌گردد ولی پس از خروج از تیغه دوباره اجزای آن با هم ترکیب می‌شوند. زیرا تیغه فقط پرتوهای تابش را به موازات خود انتقال می‌دهد.

۲-۷) طول موجشان کوتاهتر است. زیرا انحراف نورهای آبی و بنفش بیشتر از نورهای رنگین دیگر است و می‌دانید که این رنگها طول موج کوتاهتری دارند.

۳-۷) در مقابل نورهای سفید و زرد.

در نور قرمز به نظر قرمز و در نور سبز به نظر سبز می‌آید. زیرا رنگ زرد ترکیب يك رنگ مرکب است که نورهای قرمز و سبز را باز می‌تاباند، ولی، در نور آبی یا بنفش تیره به نظر می‌رسد زیرا این رنگها را جذب می‌کند.

۴-۷) آبی، زیرا از مخلوط سه نور قرمز و سبز و آبی نور سفید به وجود می‌آید.
 ۵-۷) سیاه، زیرا مخلوط دو رنگ زرد و فیروزه‌ای رنگ سبز تولید می‌کند و این رنگ، رنگ گلی را جذب می‌نماید (شکل ۷-۷).



شکل ۷-۷

۶-۷) وقتی رنگهای نقاشی با هم مخلوط می‌شوند پاره‌ای از رنگها به علت جذب در ماده رنگین حذف می‌گردند در صورتی که هنگام به هم آمیختن رنگهای نور، حاصل از بازتابش از روی پرده سفید، هیچ رنگی حذف نمی‌شود بلکه رنگها به هم اضافه می‌شوند.

جدول سینوسها، کسینوسها و تانژانتها

زاویه	سینوس	کسینوس	تانژانت	زاویه	سینوس	کسینوس	تانژانت
0°	0.000	1.000	0.000	45°	0.707	0.707	1.000
1	0.017	1.000	0.017	46	0.719	0.695	1.036
2	0.035	0.999	0.035	47	0.731	0.682	1.072
3	0.052	0.999	0.052	48	0.743	0.669	1.111
4	0.070	0.998	0.070	49	0.755	0.656	1.150
5	0.087	0.996	0.087	50	0.766	0.643	1.192
6	0.105	0.995	0.105	51	0.777	0.629	1.235
7	0.122	0.993	0.123	52	0.788	0.616	1.280
8	0.139	0.990	0.141	53	0.799	0.602	1.327
9	0.156	0.988	0.158	54	0.809	0.588	1.376
10	0.174	0.985	0.176	55	0.819	0.574	1.428
11	0.191	0.982	0.194	56	0.829	0.559	1.483
12	0.208	0.978	0.243	57	0.839	0.545	1.540
13	0.225	0.974	0.231	58	0.848	0.530	1.600
14	0.242	0.970	0.249	59	0.857	0.515	1.664
15	0.259	0.966	0.268	60	0.866	0.500	1.732
16	0.276	0.961	0.287	61	0.875	0.485	1.804
17	0.292	0.956	0.306	62	0.883	0.469	1.881
18	0.309	0.951	0.325	63	0.891	0.454	1.963
19	0.326	0.946	0.344	64	0.899	0.438	2.050
20	0.342	0.940	0.364	65	0.906	0.423	2.145
21	0.358	0.934	0.384	66	0.914	0.407	2.246
22	0.375	0.927	0.404	67	0.921	0.391	2.356
23	0.391	0.921	0.424	68	0.927	0.375	2.475
24	0.407	0.914	0.445	69	0.934	0.358	2.605
25	0.423	0.906	0.466	70	0.940	0.342	2.747
26	0.438	0.899	0.488	71	0.946	0.326	2.904
27	0.454	0.891	0.510	72	0.951	0.309	3.078
28	0.469	0.883	0.532	73	0.956	0.292	3.271
29	0.485	0.875	0.554	74	0.961	0.276	3.487
30	0.500	0.866	0.577	75	0.966	0.259	3.732
31	0.515	0.857	0.601	76	0.970	0.242	4.011
32	0.530	0.848	0.625	77	0.974	0.225	4.331
33	0.545	0.839	0.649	78	0.978	0.208	4.705
34	0.559	0.829	0.675	79	0.982	0.191	5.145
35	0.574	0.819	0.700	80	0.985	0.174	5.671
36	0.588	0.809	0.727	81	0.988	0.156	6.314
37	0.602	0.799	0.754	82	0.990	0.139	7.115
38	0.616	0.788	0.781	83	0.993	0.122	8.144
39	0.629	0.777	0.810	84	0.995	0.105	9.514
40	0.643	0.766	0.839	85	0.996	0.087	11.43
41	0.656	0.755	0.869	86	0.998	0.070	14.30
42	0.669	0.743	0.900	87	0.999	0.052	19.08
43	0.682	0.731	0.933	88	0.999	0.035	28.64
44	0.695	0.719	0.966	89	1.000	0.017	57.29
45	0.707	0.707	1.000	90	1.000	0.000	

منابعی که در تدوین کتاب به آنها مراجعه شده است

- ۱- ORDINARY LEVEL PHYSICS, A. F. ABBOTT.
- ۲- PHYSICS, Edited by D. W. SCOTT, M. A.
- ۳- COLLEGE PHYSICS, PHYSICAL SCIENCE, STUDY COMMITTEE.
- ۴- FOUNDATION OF PHYSICS, ROBERT L. LEHRMAN CLIFFORD SWARTZ.
- ۵- PHYSICS, IRWIN GENZER PHILIP YOUNGNER.
- ۶- PHYSICS, TAFFEL.
- ۷- The SCIENCE OF PHYSICS, ARTHUR BEISER.
- ۸- MODERN PHYSICS, CHARLES E. DULL, H. CLARK METCALFE WILLIAM BROOKS.
- ۹- PHYSIQUE, J. CESSAC, G. TRÉHERNE, 2eC.
- ۱۰- PHYSIQUE, PIERRE MACQ, PIERRE STOUFFS.
(در کشور بلژیک Classe de troisième)
- ۱۱- PHYSIQUE GÉNÉRALE, H. BRASSEUR, H. SAUVERNIER.
- ۱۲- CHALEUR, THERMODYNAMIQUE, ETATS DE LA MATIERE.
P. FLEURY et J. P. MATHIEU.
- ۱۳- The Working World of PHYSICS, I. M. L. JENKINS.



